

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE - 1 : GENERALITES SUR LA COLLE ET LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE COLLAGE

CHAPITRE - 2 : GENERALITES SUR LE BOIS

CHAPITRE - 3 : ETUDE SUR L'AMIDON, LA CASEINE ET LA GELATINE

PARTIE 2 : EXPERIMENTATION

CHAPITRE - 4 : FABRICATION D'UNE COLLE A BASE D'AMIDON

CHAPITRE - 5 : FABRICATION D'UNE COLLE A BASE DE CASEINE

CHAPITRE - 6 : FABRICATION D'UNE COLLE A BASE DE GELATINE

CHAPITRE - 7 : ETUDE COMPARATIVE ET EVALUATION DES IMPACTS SOCIOECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

CONCLUSION

ANNEXE

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN :	Acide désoxyribonucléique
AGU :	D-Anhydroglucopyranose
COV :	composés organiques volatils
DIN :	Deutsches Institut für Normung, un organisme de normalisation ou de standardisation allemand
nm :	Nanomètre
pH :	Potentiel hydrogène
Polymère MS :	Polymère Modifié Silane
PVC :	Polychlorure de vinyle
Rpm :	Tour par minute (en <u>anglais</u> : révolution per minute)
T :	Température
UV :	Ultra-violet

GLOSSAIRE

Un adhésif est un matériau qui permet de faire adhérer entre eux des objets.

L'adhésion est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui se produisent lorsque l'on met en contact intime deux matériaux, dans le but de créer une résistance mécanique à la séparation.

La cohésion correspond à la force qui s'exerce entre les molécules d'un corps, s'opposant à leur séparation.

La décantation consiste à laisser reposer un mélange hétérogène suffisamment longtemps pour que les particules solides en suspension tombent **au fond** du récipient. On peut ensuite verser délicatement dans un autre récipient le mélange qui surnage : on obtient un mélange quasiment homogène.

L'encollage c'est la phase du collage pendant laquelle on applique l'adhésif sur le ou les supports.

La force de van der Waals (interaction de van der Waals ou liaison de van der Waals) est une interaction électrique de faible intensité entre atomes, molécules, ou entre une molécule et un cristal.

L'incinération est une technique de transformation par l'action du feu. Incinérer signifie « réduire en cendres » ou, dit autrement, qu'on brûle complètement les matières à incinérer.

Un polymère : est une Substance composée de molécules caractérisées par la répétition, un grand nombre de fois, d'un ou de plusieurs atomes ou groupes d'atomes.

La solubilité : est la faculté d'une substance à passer en solution. Elle s'exprime généralement en g/L.

Le Taux d'humidité correspond à la quantité d'eau perdue par une substance solide ou boueuse ou gélatineuse, lors d'un chauffage à 110°C pendant des heures. Le Taux d'humidité s'exprime généralement en pourcentage pondéral.

Le Whey : (également appelé lactosérum ou perméat de lait), est le liquide qui reste après le lait caillé et a été tendues. C' est un sous-produit de la fabrication du fromage ou de la caséine et a plusieurs utilisations commerciales.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Ordres de grandeur (dans le cas d'interface liquide-air).....	13
Tableau 2. Comparaison des bois secs et humides.....	49
Tableau 3. Composition chimique du tubercule de pomme de terre....	58
Tableau 4. Composition du lait chez divers mammifères	61
Tableau 5. Teneur en humidité d'amidon	79
Tableau 6 : Teneur en cendre d'amidon.....	81
Tableau 7 : Taux de solubilité d'amidon.....	82
Tableau 8 : Teneur en acidité d'amidon.....	83
Tableau 9 : Produits utilisés pour la préparation de la colle d'amidon.....	84
Tableau 10. Comparaison de la colle d'amidon avec la colle blanche de commerce	86
Tableau 11 : Produits utilisés pour l'extraction de la caséine	89
Tableau 12 : Teneur en humidité de la caséine.....	92
Tableau 13 : Teneur en matières minérales de la caséine.....	93
Tableau 14 : Teneur en matières grasses de la caséine.....	95
Tableau 15 : Produits utilisés pour la préparation de la colle de caséine ..	96
Tableau 16 : Ancienne Formulation de la colle de caséine.....	97
Tableau 17 : Nouvelle Formulation de la colle de caséine.....	98
Tableau 18 : Comparaison de la colle de caséine avec la colle blanche de commerce.....	99
Tableau 19 : Produit utilisé pour la production de la gélatine.....	102
Tableau 20 : Teneur en humidité de la gélatine.....	104
Tableau 21 : Teneur en cendre de la gélatine.....	105
Tableau 22 : Préparation de la colle de gélatine.....	105
Tableau 23 : Comparaison de la colle de gélatine avec la colle blanche de commerce.....	107
Tableau 24 : Données comparatives amidon, caséine, gélatine et « Ponal »	111

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Mouillage partiel...	9
Figure 2. Mouillage total...	9
Figure 3. Attraction des molécules voisines au sein d'un liquide au repos	10
Figure 4. Force de cohésion à la surface de séparation entre le liquide et le gaz	11
Figure 5. Tension superficielle entre liquide et gaz ...	11
Figure 6. Interface entre deux liquides non miscibles...	12
Figure 7. Tension superficielle entre liquide et gaz 2.....	12
Figure 8. Méthode capillaire (mesure de tensions superficielles) ...	14
Figure 9. Schéma de l'anneau de Noüy...	15
Figure 10. Adhésion et cohésion...	16
Figure 11 : Illustration de fluctuations spontanées et permanentes du nuage électronique...	20
Figure 12 : Dipole électrique...	20
Figure 13 : Test de cisaillement ...	22
Figure 14 : Test de pelage ...	23
Figure 15 : Test de traction...	24
Figure 16 : Test de traction cisaillement...	24
Figure 17 : Test de clivage...	25
Figure 18 : Rupture cohésive, adhésive et mixte...	25
Figure 19 : Technique de collage...	33
Figure 20 : Coupe transversal du tronc d'arbre.....	35
Figure 21: Structure microscopique du tronc d'arbre ...	38
Figure 22 : Composition chimique du bois...	39
Figure 23 : Motif du cellobiose...	40
Figure 24 : Synthèse de la lignine...	41
Figure 25 : Xyloglucanes...	42
Figure 26 : Plan tangentiel, longitudinal, transversal...	44
Figure 27 : Empilage ...	46
Figure 28 : Emmagasinage.....	46
Figure 29 : Structure de grain d'amidon...	52
Figure 30 : Structure de l'amylose et amylopectine ...	53

Figure 31 : Coupe transversal du tubercule de pomme de terre	57
Figure 32 : Composition de lait de vache	62
Figure 33 : Structure d'un acide aminé et d'une protéine.....	63
Figure 34 : caséine amphiphile	64
Figure 35 : Variation de la charge électrique en fonction du pH.....	64
Figure 36 : Micelles de caséine	65
Figure 37 : Origine de la Gélatine.....	67
Figure 38 : Représentation de la molécule de gélatine selon la convention de Lewis.....	68
Figure 39: Tropocollagène.....	71
Figure 40 : Processus de fabrication de la gélatine.....	71

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Exemples de bois durs ou feuillus	36
Photo 2 : Exemples de bois tendres résineux	37
Photo 3 : Pomme de terre et amidon en poudre	74
Photo 4 : Amidon en poudre obtenu	77
Photo 5 : Observation microscopique des grains d'amidon	78
Photo 6 : hile (A) et les stries d'accroissement (B) d'amidon	78
Photo 7 : Incinération de l'amidon	80
Photo 8 : (1) extraction de la caséine, (2) caséine humide, (3) caséine sèche	90
Photo 9 : Caséine obtenue	91
Photo 10 : Gélatine obtenue	103

INTRODUCTION

Le bois a toujours été un matériau indispensable à l'homme. Ses utilisations sont multiples ; que ce soit pour la construction des maisons, des planchers, des ponts, des charpentes et même des tuiles, la fabrication des objets qui nous entourent tels que les meubles, les objets liés à la vie quotidienne (paniers et boîtes....), les outils en bois (équerre, rabot, pelles,...) ou la décoration de nos logements.

C'est aussi une matière première renouvelable qui pousse tout seul et qui a de nombreuses qualités qui correspondent à divers utilisations (souplesse, dureté, couleur, odeur,...)

Le bois possède certaines propriétés défavorables pour la construction, comme le retrait (perte de volume lors du séchage), le gonflement (augmentation du volume par absorption d'humidité), le gauchissement (déformation au cours du séchage) et le craquèlement (fait de laisser apparaître des fentes).

Pour remédier à ces défauts, on utilise des colles à bois pour le transformer en différents types de matériaux à base de bois homogène prêt à l'utilisation ou pour augmenter l'épaisseur ou encore pour montrer ses couleurs différentes.

Le collage est une technique d'assemblage au même titre qu'agrafer ou clouer.

Néanmoins, le collage présente des avantages fondamentaux par rapport aux autres techniques : les matériaux collés ne sont pas endommagés et la liaison peut être effective sur toute la surface.

De plus, des matériaux de plus en plus divers et variés sont assemblés grâce au développement continu de nouveaux systèmes de collage.

Pour toutes ces raisons, et bien d'autres encore, le collage est devenu très populaire et très répandu dans des domaines aussi variés que la construction, la décoration intérieure (papier peint, carrelage et recouvrement de sol), les travaux de bureau et de l'écolier ou les arts plastiques. Mais le collage est aussi une technique très efficace et souvent irremplaçable dans le domaine des réparations.

Le collage est donc un instrument fondamental dans une politique de promotion de la réutilisation en vue de la réduction du volume des déchets et de leurs impacts sur l'environnement.

Pour éviter l'usage des colles synthétiques qui polluent l'environnement et qui sont cancérigènes ou irritants, ou encore nocifs pour la santé, ce projet consiste à fabriquer des colles d'origine naturelle animale et végétale qui n'ont aucun impact sur la santé et qui devront montrer des caractéristiques comparables à celles d'une colle blanche du commerce.

Pour ce faire nous avons subdivisé ce rapport en deux grandes parties :

La première partie est consacrée à une étude bibliographique sur les aspects généraux d'une colle (les compositions et les caractéristiques physico-chimiques d'une colle ; le mécanisme et les étapes de collage), sur la technique de collage, et sur des généralités sur les bois, l'amidon, la caséine et la gélatine.

La deuxième partie présente les techniques expérimentales de fabrication d'une colle. (Colle d'amidon, colle de caséine, colle de gélatine) et est terminée par une comparaison des trois colles avec une colle du commerce et une évaluation des impacts socioéconomiques et environnementaux.

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE - 1 : GENERALITES SUR LA COLLE ET LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE COLLAGE

1.1_ COMPOSITION D'UNE COLLE [1]

Les colles sont constituées par un liant qui est son agent de base (résines ou polymères naturelles) ; par un liquide (eau, solvant organique,...) pour dissoudre l'agent qui est presque toujours à l'état liquide ou pour former une dispersion fine ; par une charge, qui améliore quelques propriétés de la colle et par des additifs, en tant qu' agents conservateurs, des agents épaississants ou des agents de remplissage.

1.1.1_ Le liant

Un **liant** est un produit qui sert à relier deux ou plusieurs choses entre elles; ce qui assure la cohésion et la cohérence d'un ensemble.

Les résines et les polymères naturels sont les agents indispensables, qui servent de liant.

1.1.1.1_ Les résines

Une **résine** désigne un produit (naturel, artificiel ou synthétique) qui est une *matière de base* pour fabriquer par exemple des matières plastiques, peintures, adhésifs, vernis.

La résine d'origine naturelle, le plus souvent végétale (fossile ou de récolte), rarement animale, n'est pas soluble dans l'eau mais dans certains solvants. Les **résines** végétales sont des substances naturelles secrétées par certains végétaux, notamment des conifères et des térébinthacées; en partie. Cette substance extraite du pin et du sapin. Elles ont l'aspect d'un liquide poisseux qui sèche plus ou moins rapidement au contact de l'air. Elles sont souvent fortement odorantes.

1.1.1.2_ Les polymères naturels [1w]

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement

répété d'un même motif, monomère (du grec monos: un seul ou une seule, et meros ; partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique. Les macromolécules naturelles sont les caoutchoucs, les polysaccharides, le glycogène, l'ADN, les protéines... Les macromolécules synthétiques sont représentées par exemple par le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le Polychlorure de vinyle, les polyesters, les polyamides.

Les polymères les plus connus sont :

- les fibres naturelles :
 - fibres végétales (cellulose) : bois, papier, textiles naturels (chanvre, lin, coton), etc ;
 - fibres animales : cuir (collagène), soie et laine (kératine), etc ;
- les matières plastiques ;
- les caoutchoucs naturels (latex) et artificiels.

1.1.2 La phase de dissolution [2]

La dissolution est le processus physico-chimique par lequel un soluté est dissous dans un solvant pour former un mélange homogène appelé solution. Formellement, la dissolution est définie comme le mélange de deux phases avec formation d'une nouvelle phase homogène.

Le soluté peut être à l'état solide, liquide ou gazeux. Lors de la dissolution, les atomes, les ions ou les molécules du soluté se dispersent et interagissent avec les molécules de solvant. Cette interaction s'appelle la solvation. Suivant la nature du soluté et du solvant, la solvation peut faire intervenir des interactions ion-dipôle, des liaisons hydrogène ou des liaisons de van der Waals.

La phase de dissolution est un liquide volatil qui dissout (white spirit) ou dilue (eau) le liant pour faciliter l'adhésion des différents matériaux.

Lors du séchage, le solvant s'évapore dans l'air ambiant ou est absorbé par le support. Les solvants des colles synthétiques (y compris les colles à phase aqueuse) sont les principaux responsables des émissions de composés organiques volatils (COV) liées aux colles.

1.1.3_ Les charges [2,2w]

1.1.3.1_ Définition

Les charges sont des substances solides, non miscibles ayant pour but d'améliorer le renforcement mécanique ou l'absorption du support. C'est un moyen purement technique et économique car une faible charge aura pour effet de limiter la pénétration et les risques de transperçement d'une colle déterminée. Une charge forte aura peut-être pour effet principal une diminution du prix de revient du collage. Les charges peuvent être d'origines très diverses minérale ou organique, naturelle ou artificielle.

Cette charge peut être absolument inerte, c'est-à-dire agir uniquement sur les propriétés physiques. Elle peut être aussi active, c'est à dire intervenir par son propre pouvoir adhésif. Ce sera le cas de la poudre de sang desséché qu'on ajoutera à une colle formo-phénolique par exemple.

1.1.3.2_ Les différents types de charge

- **Charges minérales naturelles** : argile, kaolin, (argile pure, blanche) gypse pulvérisé, silice, terre d'infusoires, kieselguhr ou tripoli siliceux)
Charges minérales artificielles : plâtre, blanc de baryte.
- **Charges organiques inertes, charges ligno-cellulésiques**, c'est à dire farines de bois, d'écorces, ou de coques diverses. Elles sont surtout employées avec des résines urée formol, mélamine formol, phénol-formol et résorcine formol, dans une proportion de 30 à 40%.
- **Charges organiques actives** :
 - Farine de blé, farine de seigle, farine de fèves et de vesce, fécule de pommes de terre, farine de soja.
Ces farines peuvent s'ajouter à des colles à la résorcine, mais sont peu compatibles avec les colles phénoliques. Une proportion de 15 % ne doit pas être dépassée si l'on veut conserver une bonne résistance à l'eau. On pourrait atteindre 100 % et plus si les pièces collées sont destinées à usage en atmosphère sèche.
 - Charges d'albumine de sang. La poudre de sang desséchée est incorporée parfois aux résines aminoplastes ou phénoplastes.

On ne dépasse 15 % (du poids de la résine sèche, toujours) si l'on veut conserver une bonne durabilité des joints.

- Charges de caséine. En fait on mélange parfois de la caséine au silicate au silicate de soude ou aux colles de sang dans une proportion de 10 à 50 %. C'est plutôt un mélange de colles qu'une charge proprement dite, les deux adhésifs étant de même nature chimique. Le résultat est satisfaisant, surtout du point de vue pratique.

1.1.3.3_ Qualité de la charge requise [2,2w]

La charge choisie doit :

- Être peu coûteuse ;
- Ne pas nuire au pouvoir adhésif de la colle ;
- Ne pas augmenter ou réduire exagérément la durée de la prise ;
- Ne pas diminuer sensiblement les caractéristiques mécaniques du collage ;
- Ne pas diminuer la résistance dans le temps ;
- Ne pas avoir d'action abrasive exagérée sur l'outillage.

Ainsi une charge minérale devra toujours être limitée à cause des affûtages qu'elle provoque. Par contre l'emploi de certaines charges organiques actives peut être poussé jusqu'au taux énorme de 300%.

1.1.4_ Les additifs [1,2]

Le nom additif (ou parfois « agent » suivi d'un terme) désigne une substance chimique souvent liquide ou en poudre, qui est en général introduite avant ou pendant la mise en forme du matériau, pour apporter ou améliorer une (ou parfois plusieurs) propriété(s) spécifique(s).

Pour une colle, il peut s'agir de conservateurs, d'accélérateurs de séchage, de pesticides, d'épaississants, parfois très toxiques

Exemples :

- Lécithine de soja ;
- Manganèse ;
- Calcium.

1.2_ LA THEORIE DE COLLAGE

1.2.1_ Définitions d'une colle [2w, 3w, 4w, 5w]

- Une colle peut être définie comme un liquide qui doit mouiller le support sur lequel il est étalé et qui donne en s'épaississant ou en se solidifiant un joint s'opposant à la séparation.
- Matière gluante et adhésive permettant de faire adhérer deux surfaces. Synonyme glu.
- Une colle ou la glu est un produit de nature liquide ou gélatineuse servant à lier des pièces entre elles. Ces pièces peuvent être de même nature ou de différents matériaux.
- L'expression "coller" signifie assembler deux éléments à l'aide d'une colle. Conformément à la norme DIN 16 920 le mot colle se définit comme suit : "matériau non métallique capable d'unir ensemble des substances au moyen d'une adhésion de surface et d'une force intérieure".

1.2.2_ Théorie de collage

Le principe de collage est basé sur une l'adhésion d'un liquide sur un solide qui fait intervenir la notion de mouillabilité qui caractérise l'étalement du liquide sur le solide et la force d'attraction que les molécules adhésives exercent entre elles: la cohésion.

1.2.2.1_ La mouillabilité [6w]

- **Définition**

Aptitude de la surface d'un matériau à se laisser mouiller par les liquides ; c'est aussi la faculté pour une substance solide de recevoir un liquide en lui permettant de s'étaler sur la plus grande surface possible. La première qualité de la colle est donc de bien s'étaler. Mieux elle y parvient, moins elle emprisonnera de bulles d'air contrariantes au fond des minuscules alvéoles des matériaux. Si des bulles restent coincées, elles seront sous pression et pourraient être à l'origine d'un décollement. Voilà pourquoi il faut que la colle mouille.

- **Notions de mouillage** [6w]

Le mouillage décrit le phénomène physique lorsque trois phases, dont au moins l'une est liquide, sont mises en contact. Lorsqu'une goutte de liquide est posée sur une surface solide, deux comportements peuvent apparaître.

Soit il existe une ligne de contact, qui est la ligne à l'interface des trois phases (appelé aussi ligne triple) : le mouillage est dit partiel.

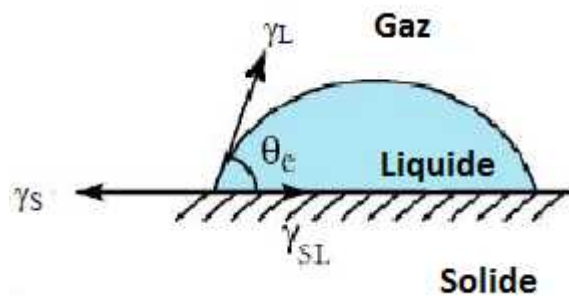


Figure 1 : mouillage partiel

Soit la goutte s'étale complètement sur le solide : on dit qu'il y a mouillage total.

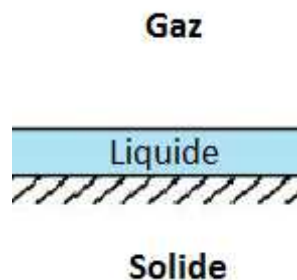


Figure 2 : mouillage total

L'angle de contact, noté θ_c sur la figure ci-dessus, permet de quantifier la qualité du mouillage :

- Si $\theta_c < 90^\circ$, le liquide mouille le solide ;
- Si $\theta_c = 0^\circ$, la mouillabilité est parfaite ;
- Si $180^\circ > \theta_c > 90^\circ$, le liquide est plutôt non mouillant.

Dans le cas extrême $\theta_c = 180^\circ$, la mouillabilité est nulle.

Il est nécessaire d'appréhender le principe d'énergie de surface pour comprendre les mécanismes de collage.

Pour obtenir un bon mouillage de la surface, l'adhésif doit avoir une énergie de surface inférieure à celle du substrat

1.2.2.2 L'énergie superficielle d'un liquide ou la tension superficielle [7w]

- **Définition**

Tension de surface ou énergie d'interface ou bien encore énergie de surface la tension superficielle est une force qui existe au niveau de toute interface entre deux milieux différents (entre un solide ou un liquide et un gaz). La tension entre des milieux identiques: deux solides, deux liquides, ou également entre un liquide et un solide est généralement appelée: la tension interrassiale.

C'est donc cette force, la tension superficielle, qui permet à la goutte d'eau de ne pas s'étaler sur une feuille, ou à certains insectes de marcher sur l'eau, ou bien encore qui permet cette forme bombée de l'eau dans un verre à ras bord avec la notion de capillarité.

La tension superficielle est une propriété des liquides qui permet de maintenir en équilibre leur surface libre.

Au sein d'un liquide au repos, chaque molécule est soumise à l'attraction des proches voisines. La résultante de ces forces, dirigées dans toutes les directions, est nulle en moyenne

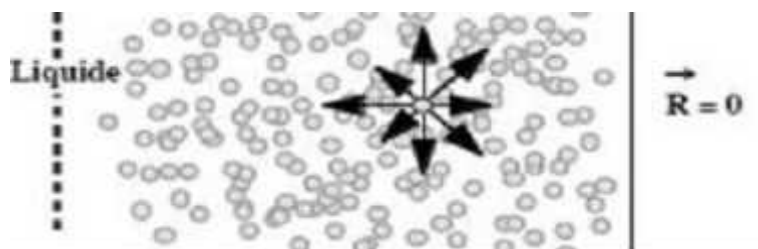


Figure 3 : Attraction des molécules voisines au sein d'un liquide au repos.

A la surface de séparation entre le liquide et le gaz qui le surmonte, les forces de cohésion ne présentent plus cette symétrie moyenne : chaque molécule subit de la part des molécules placées à l'intérieur du liquide, des forces d'attraction dont la

résultante, normale à la surface est dirigée vers l'intérieur du fluide, n'est compensée par aucune autre force.

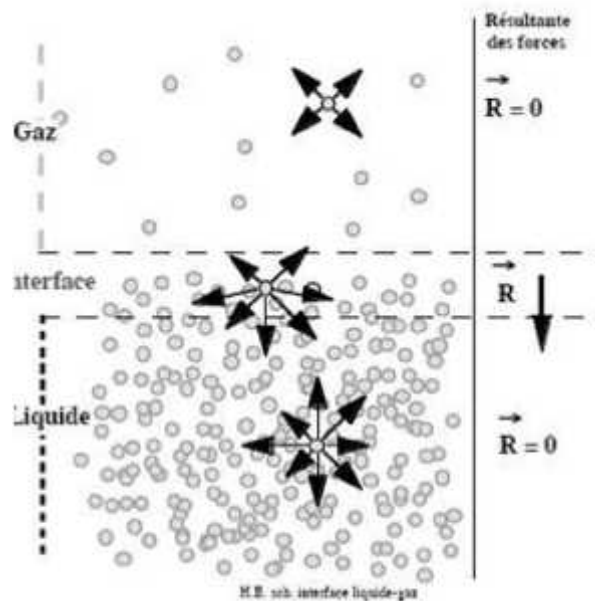


Figure 4 : Force de cohésion à la surface de séparation entre le liquide et le gaz.

Ces molécules de surface se comportent donc comme une membrane tendue sur les autres molécules, comme pour les retenir, membrane qui comprime le liquide dans certains cas. D'où le terme de **tension superficielle**. L'épaisseur de cette couche superficielle de molécules varie entre 1 et 100nm

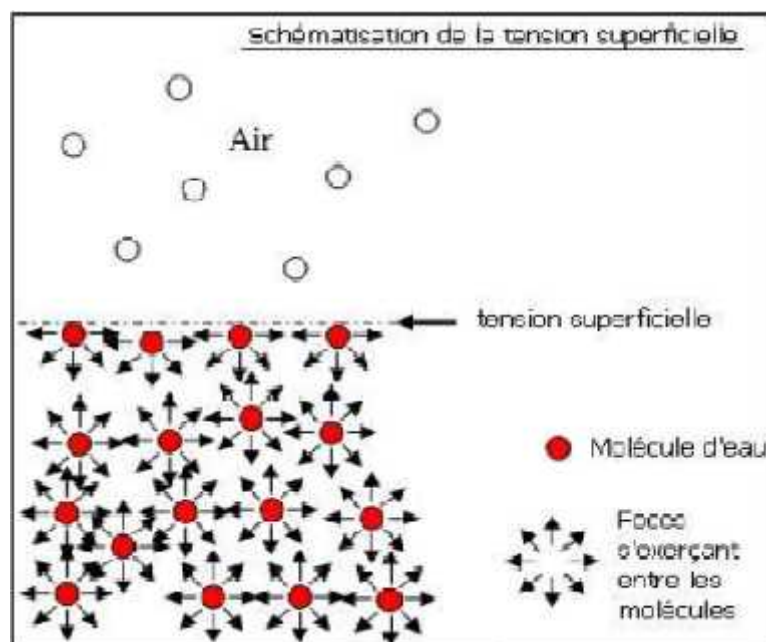


Figure 5 : tension superficielle

Ceci explique par ailleurs que tout liquide tend spontanément à diminuer sa surface. Ainsi se forment les gouttes et les bulles. La forme sphérique présente **le plus faible rapport surface/volume**

- **Equation**

Pour accroître la surface il faut donc apporter de l'énergie. Il y a une proportionnalité entre le travail **dW** que l'on fournit et l'augmentation **dA** de l'aire de la surface liquide; on écrit simplement :

$$dW = \gamma dA$$

Le coefficient de proportionnalité est appelé coefficient de la **Tension superficielle**. Quand le liquide considéré est en contact avec un autre liquide non miscible, on définit de la même façon un coefficient de proportionnalité que l'on désigne par le terme de **tension interfaciale**.

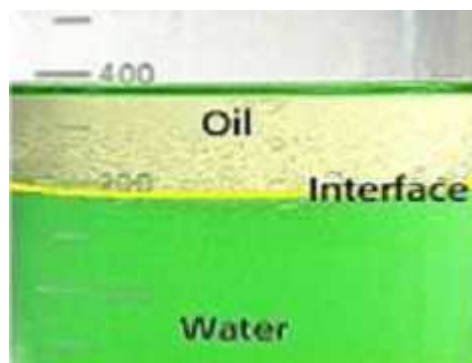


Figure 6 : interface entre deux liquides non miscibles.

Remarquons que l'énergie dépensée pour augmenter l'aire superficielle correspond au travail d'une force **F**.

$$dF = \gamma dl$$

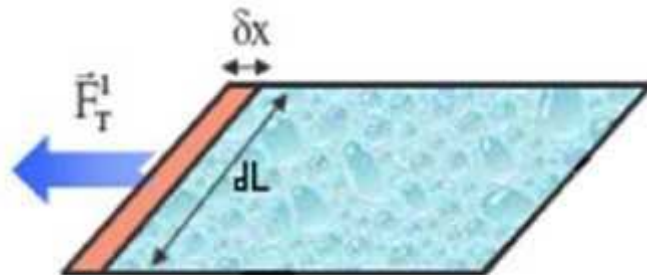


Figure 7 : tension superficielle.

La tension superficielle est donc la force de traction par unité de longueur agissant sur un élément de surface, situé dans un plan tangent à la surface et qui s'oppose à la dilatation de celle-ci. Elle est due à l'attraction entre les molécules et elle mesure la résistance à l'augmentation de surface.

- **Unités**

L'unité de mesure de la tension superficielle est le newton par mètre (N.m^{-1}) qui est équivalent aux joules par mètre carré (J.m^{-2}) qui est l'unité d'énergie de surface (ou dyne/cm).

La tension superficielle est la force qu'il faut appliquer à un liquide pour provoquer l'extension de sa surface. On peut définir l'énergie d'interface comme un surplus d'énergie chimique lorsque les molécules de surface se trouvent à l'intérieur du liquide

On notera que la tension superficielle **diminue** lorsque la **température augmente** : cela s'explique par le fait que les forces de cohésion intermoléculaires sont réduites par l'agitation thermique

Tableau 1: Ordres de grandeur (dans le cas d'interface liquide-air).

http://www4.ac-nancy-metz.fr/physique/PHYS/Bts-Cira/mecaflu/Mecaflu_BTS_web.htm (22-12-2011)

Liquide	(N.m^{-1}) à 20 °C
eau (à 20 °C)	73×10^{-3}
eau (à 0 °C)	$75,6 \times 10^{-3}$
huile végétale	32×10^{-3}
Ethanol	22×10^{-3}
Ether	17×10^{-3}
Mercure	480×10^{-3}

- **Mesure de la tension superficielle d'un liquide [4]**

Il existe différentes méthodes qui permettent d'aboutir à une valeur de la tension superficielle. Ces méthodes ne sont pas tous égales en termes de précision ou en

termes de rapidité. Nous verrons ainsi en première partie que la capillarité permet aussi de déterminer la tension superficielle. Par la suite, nous verrons une autre méthode qui demande une manipulation plus importante ; on la nommera la méthode de l'anneau de Noüy. Enfin nous verrons la méthode de la goutte tombante qui demande une manipulation qui possède de nombreux calculs.

- **Méthode capillaire**

Une des méthodes de mesure consiste à faire monter un liquide dans un tube capillaire pour déterminer la tension superficielle du liquide étudié.

À l'inverse, la loi de Jurin donne la hauteur à laquelle un liquide monte dans un tube capillaire.

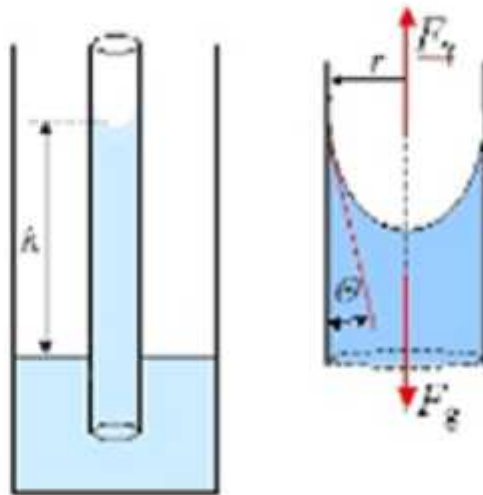


Figure 8 : Méthode capillaire (mesure de tensions superficielles).

$$\gamma_L = \frac{r \cdot \rho \cdot g \cdot h}{2 \cos \theta} \text{ en [N.m}^{-1}\text{]}$$

Avec :

r : rayon du capillaire [m].

ρ : Masse volumique du liquide [Kg.m⁻³].

On considère que $\rho_{\text{air}} \ll \rho_{\text{liq}}$

h : hauteur du liquide [m].

$g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ (accélération de pesanteur).

- **L'anneau de Noüy**



Figure 9 : Schéma de l'anneau de Noüy.

$$\gamma_L = \frac{i.F}{4.\pi.R} \text{ en [N.m}^{-1}\text{]}$$

Avec :

R : rayon de l'anneau [m].

F : Force appliquée pour relever l'anneau.

i : facteur de correction lié à la forme de l'anneau.

- **Goutte tombante**

Enfin la goutte tombante permet également de mesurer la tension superficielle des liquides.

$$\gamma_L = \frac{m.g}{2.\pi.r.f} \text{ en [N.m}^{-1}\text{]}$$

Avec :

m: masse de la goutte [Kg].

r : rayon du capillaire [m].

g= 9,8 m.s⁻² (accélération de pesanteur).

f : facteur de corrélation.

1.2.2.3 Force d'adhésion et Adhérence

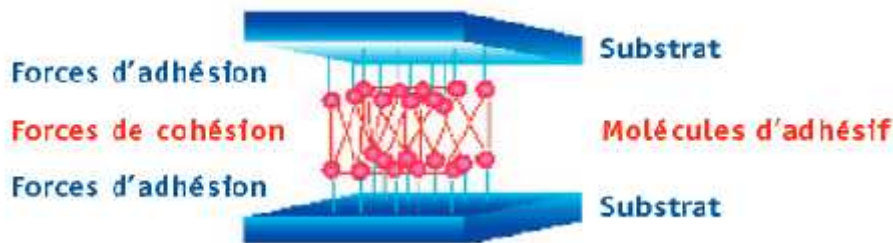


Figure 10 : adhésion et cohésion

- **Définitions** [9w]

L'**adhérence**, désigne l'ensemble des forces qui s'exercent entre deux substances en contact étroit et les empêchent de glisser l'une contre l'autre. Ces substances sont généralement deux solides mais l'une d'entre elles peut également être un liquide ou un gaz.

L'**énergie d'adhésion**, c'est l'énergie nécessaire pour réaliser la séparation des deux substances réunis par une surface commune.

L'adhésion est soit directe, soit indirecte :

- ❖ **Adhésion directe** entre matériaux est rare. Elle a lieu uniquement pour des matériaux très lisses et extrêmement propres (mica ou silicium par exemple), que l'on parvient à mettre en contact intime, c'est-à-dire à des distances de l'ordre de la taille atomique (nanomètre).

Exemples d'adhésion directe : adhésion moléculaire du mica ou du silicium.

- ❖ **Adhésion indirecte** c'est l'adhésion avec un matériau intercalaire (adhésion capillaire, colles, adhésifs) , plus fréquente que l'adhésion directe : un matériau mince assure le lien mécanique entre les deux matériaux qui adhèrent. Le matériau intercalaire permet notamment de vaincre l'effet néfaste de la rugosité sur l'adhésion.

- **La théorie d'adhésion** [5]

Plusieurs théories sont proposées pour l'interprétation de l'adhésion :

- La théorie mécanique
- La théorie électrique
- La théorie de diffusion
- La théorie de l'absorption thermodynamique
- La théorie de la liaison chimique
- La théorie des couches de faibles liaisons

❖ **La théorie mécanique : l'ancrage mécanique**

La théorie de l'ancrage mécanique, initiée par Mac Bain dès 1926, est la plus ancienne des théories de l'adhésion. Ce modèle considère que l'origine de l'adhésion est due à la pénétration de l'adhésif dans les pores ou entre les aspérités présentes à la surface du substrat. Il en résulte un accrochage mécanique entre les deux surfaces. Ce mécanisme n'est donc applicable que lorsqu'il existe un contact intime entre les deux matériaux et que le revêtement (la colle, la peinture...) mouille bien la surface du substrat afin de pouvoir pénétrer les anfractuosités de sa surface. Mais l'adhésion sur des surfaces parfaitement lisses suppose d'autres théories.

❖ **La théorie électrique**

La théorie électrique a été développée par DERYAGIN et COL. L'adhésion s'explique par les attractions électrostatiques dues à une couche double électrique se formant en contact entre un métal et un polymère et qui peut être assimilé à un condensateur. A la surface de couches d'oxydes à caractère ionique, les hétérogénéités chimiques et les défauts de surface aboutissent à la formation de charges électrostatiques. Le système revêtement/substrat est alors assimilé à un condensateur plan dont les armatures seraient les deux couches électriques formées au contact des deux surfaces.

❖ **La théorie de la diffusion**

La théorie de la diffusion a été proposée par VOYUSKILI. Elle s'applique aux matériaux polymères compatibles (c'est-à-dire lorsqu'au moins un monomère est soluble dans l'autre monomère), en particulier à l'auto adhésion, lors du contact de deux matériaux de même nature, comme le caoutchouc. Dans cette théorie, l'adhésion résulte de l'inter diffusion des molécules ou des chaînes d'un des pré-

polymères dans l'autre. L'interface entre les deux matériaux disparaît au profit d'une interphase, dont les propriétés physico-chimiques varient continûment, depuis les propriétés du premier matériau jusqu'à celles du second. Cette adhésion est contrôlée par les phénomènes de diffusion, c'est pourquoi elle implique la compatibilité des matériaux.

❖ La théorie thermodynamique

Cette théorie, aussi appelée théorie du mouillage, a été initiée par Sharpe et Schonhorn. Selon cette théorie, l'adhésion est attribuée aux forces intermoléculaires (liaisons chimiques de type Van der Waals), existant à l'interface.

La condition d'obtention d'une bonne adhésion dépend du mouillage entre solide liquide.

Ces liaisons intermoléculaires sont faibles et non dirigées. Elles ont un champ d'action de l'ordre des distances intermoléculaires. De ce fait, pour qu'elles s'établissent, il est nécessaire de créer un bon contact entre les deux surfaces, c'est à dire que le polymère doit parfaitement mouiller le substrat. L'apparition de cette théorie a entraîné de nombreuses modifications dans le milieu des adhésifs, car elle a mis en évidence l'importance de la structure et de la composition physico-chimique des surfaces des matériaux mis en contact. Parmi ces modifications, nous pouvons noter l'apparition des traitements de surface.

❖ La théorie des couches de faible cohésion (weak boundary layers)

BIKERMAN a constaté la présence de couches de faible cohésion lors de l'analyse des zones de rupture des joints collés, mais cette théorie est souvent appelée théorie de l'adhésion par abus de langage. Les forces interfaciales sont toujours plus fortes que la force de cohésion d'une des nombreuses couches composant l'assemblage. Il s'ensuit que la rupture aura toujours lieu dans la couche dont la force de cohésion est la plus faible, appelée couche de faible cohésion. La composition de cette couche peut varier. Les causes de cette variations sont nombreuse : - air (le polymère ne mouille pas assez le substrat).

- Substances étrangères (additifs, pollution de surface ...)
- défaut du substrat (discontinuités morphologiques)
- produits de la réaction

❖ La théorie chimique

La théorie chimique a été proposée par BUCHAN et RAE. L'adhésion est basée ici sur la formation de liaisons chimiques ions-covalentes. Ces liaisons sont parmi les plus fortes (jusqu'à 1000 kJ.mol^{-1}): elles assurent aux assemblages collés une résistance à la rupture importante et une meilleure durabilité, contrairement aux liaisons type Van der Waals. La distance d'interaction entre atomes (0,15 à 0,24 nm) impose ainsi un contact intime entre les deux matériaux et donc, là encore, un bon mouillage.

1.2.2.4_ La cohésion [10w]

- Définition

C'est l'action des forces qui s'opposent à la séparation des molécules d'un corps homogène (c'est la cohésion qui empêche la rupture dans la colle elle-même).

Il existe différentes forces à l'origine des cohésions entre les objets : magnétique, électrostatique, gravité, mais si la colle justement colle c'est à cause d'autres forces : les forces de VAN DER WAALS.

- Force de Van Der Waals [16]

Les liaisons de Van der Waals résultent des interactions attractives entre les molécules électriquement neutres et sont présentes dans les trois états physiques de la matière: solide, liquide, gazeux. Elles sont faibles devant les autres liaisons chimiques. Elles mettent en jeu trois types d'interactions:

- ❖ Interaction dipôle-dipôle de Keesom(1921): interaction entre deux molécules polaires ;
- ❖ Interaction entre une molécule polaire et une molécule non polaire (Debye, 1921): c'est la moins intense des trois ;
- ❖ Interaction entre deux molécules non polaires (London, 1930): son origine est quantique et met en jeu les orbitales moléculaires des électrons : interaction la plus fondamentale des trois puisqu'elle existe toujours.(même si les molécules ou les atomes ne sont pas polaires, les dipôles induits existent toujours à cause de la polarisabilité des atomes ou des molécules, c'est à dire la capacité de déformation du nuage électronique d'un atome ou d'une molécule sous l'influence électrique d'un autre atome ou molécule. Si les atomes ou

molécules sont suffisamment proches, ils vont influencer mutuellement leur distribution de charge, les déformer et créer de petits dipôles qui vont s'attirer faiblement.

On symbolise un atome par un noyau porteur d'une charge positive fixe. Le nuage électronique est autour. Lui n'est pas fixe. Au contraire il est agité de fluctuations spatiales sans arrêt même si en moyenne il est centré sur le noyau.

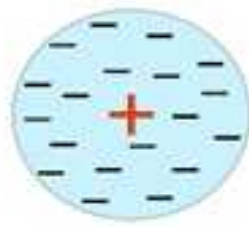


Figure 11 : Illustration de fluctuations spontanées et permanentes du nuage électronique

Dans le cas ci-dessous, pendant un bref instant, l'atome devient un dipôle électrique.

L'existence de ce dipôle éphémère influence un autre atome voisin qui prend une structure symétrique. Ces deux atomes s'attirent. C'est la force de van der Waals.

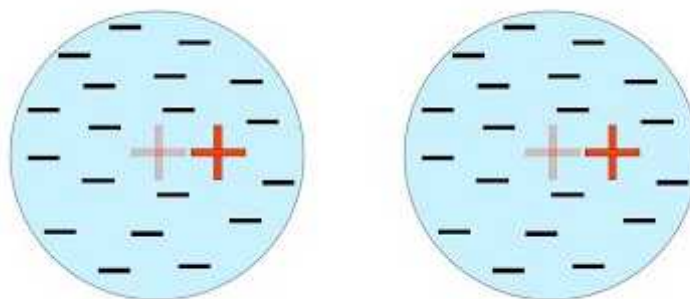


Figure 12 : Dipole électrique

Cette vision souligne comment les fluctuations des nuages électroniques se couplent par interaction électrostatique pour donner la force de van der Waals.

Cette force attractive entre deux atomes existe entre tous les atomes et ne peut pas être supprimée. Elle est certes très faible et à très courte distance, c'est à dire guère au-delà de quelques nanomètres. Les liaisons chimiques covalentes ou ioniques sont beaucoup plus importantes et correspondent à de réels échanges d'électrons (voir la règle de l'octet pour les liaisons chimiques), ce qui n'est pas le cas pour la force de van der Waals. La force de van der Waals devient importante lorsque la chimie n'est plus active (on parle de surfaces passivées c'est à dire chimiquement inertes). Les poussières interagissent en général avec une surface par les forces électrostatiques et la force de van der Waals.

L'énergie des forces de van der Waals $E_{\text{van der Waals}}$ peut donc se formuler de la façon suivante :

$$E_{\text{van der Waals}} = -\frac{1}{r^6} \left[\underbrace{\frac{\mu_1^2 \cdot \mu_2^2}{3(4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon)^2 \cdot k_B \cdot T}}_{E_{\text{Keesom}}} + \underbrace{\frac{\mu_1^2 \cdot \alpha_2 + \mu_2^2 \cdot \alpha_1}{(4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon)^2}}_{E_{\text{Debye}}} + \underbrace{\frac{3}{4} \cdot \frac{h \cdot \nu \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2}{(4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0)^2}}_{E_{\text{London}}} \right]$$

Les trois termes de cette expression peuvent être décomposés de la manière suivante :

$$\bullet \quad E_{\text{Keesom}} = -\frac{1}{r^6} \left[\frac{\mu_1^2 \cdot \mu_2^2}{3(4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon)^2 \cdot k_B \cdot T} \right]$$

Cette énergie est liée aux forces de Keesom, dues à l'interaction entre deux molécules polaires.

L'interaction dipôle-dipôle est beaucoup plus faible qu'une interaction ion-dipôle puisque l'interaction se produit entre charges partielles. L'énergie potentielle typique de ce type d'interaction est de l'ordre de 2 kJ/mol. Elle varie de façon inversement proportionnelle avec la distance à la puissance 6 entre le centre des dipôles de chacune de ces molécules¹.

$$\bullet \quad E_{\text{Debye}} = -\frac{1}{r^6} \left[\frac{\mu_1^2 \cdot \alpha_2 + \mu_2^2 \cdot \alpha_1}{(4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon)^2} \right]$$

Cette énergie est liée aux forces de Debye, dues à l'interaction entre une molécule polaire et un dipôle induit.

$$\bullet \quad E_{\text{London}} = -\frac{1}{r^6} \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{h \cdot \nu \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2}{(4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0)^2} \right]$$

Cette énergie est liée aux forces de London, dues à l'interaction entre deux dipôles induits.

Ici, on a utilisé les notations suivantes :

- ϵ_0 : est la constante diélectrique du vide ;
- h : la constante de Planck ;
- k_B : la constante de Boltzmann ;
- T : la température absolue ;
- r : la distance moyenne entre les molécules considérées ;
- μ : les moments dipolaires des molécules considérées ;
- ν : la fréquence électronique d'absorption (Hz) ;
- α : les polarisabilités électroniques.

Ces forces peuvent s'exprimer de manière différente, lorsque les distances entre les molécules mises en jeu deviennent plus grandes que quelques nanomètres. Il faut alors prendre en compte les *effets de retard* dus à la propagation de la lumière avec une vitesse finie (forces de Casimir-Polder).

Les forces de van der Waals s'obtiennent en divisant l'expression de l'énergie de van der Waals par r . Il s'ensuit qu'elles varient en r^{-7} .

1.2.2.5_ Test d'adhérence [17]

Ce sont des tests de rupture des assemblages collés (traction, cisaillement, pelage, clivage).

- Cisaillement

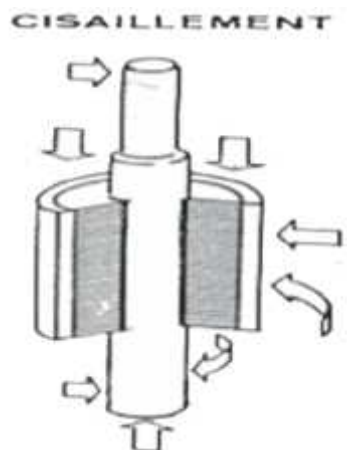


Figure 13 : Test de cisaillement

Une **contrainte de cisaillement** (lettre grecque « tau ») est une contrainte appliquée de manière parallèle ou tangentielle à une face d'un matériau, par opposition aux contraintes normales qui sont appliquées de manière perpendiculaire.

- **Pelage**

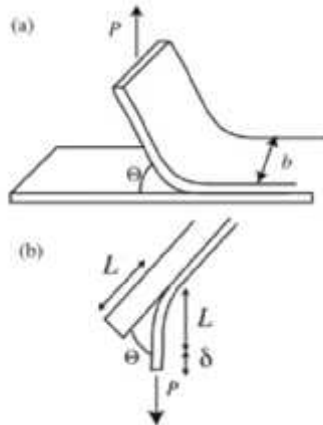


Figure 14 : Test de pelage

Pour mesurer l'efficacité d'un adhésif, il est nécessaire de mettre en place des tests quantitatifs et reproductibles. Un des tests couramment utilisés est appelé le **test de pelage**. Il s'agit de tirer sur un adhésif collé à un substrat et de mesurer la force nécessaire au décollage ainsi que l'énergie totale dépensée, appelée énergie d'adhésion.

Le test de pelage se caractérise par la mesure d'une force P . Cette force, une fois divisée par la largeur b du ruban, est appelée **force de pelage**.

Ce test est effectué en appliquant un morceau de ruban sur un panneau de test. Ce ruban est ensuite retiré sous un certain angle, appelé **angle de pelage**. Les panneaux de test peuvent être réalisés dans différents matériaux comme du verre, de l'acier (haute énergie de surface), du HDPE (faible énergie de surface).

On note θ l'angle de pelage, et b la largeur de l'adhésif.

Trois situations de pelage sont couramment utilisées :

- pour un angle θ faible, on décolle le ruban de façon très tendue (force élevée) ;
- pour $\theta=90^\circ$, on réalise une traction perpendiculaire (force modérée) ;
- pour $\theta=180^\circ$, on réalise un essai de traction en retournant l'adhésif. En général, la force est moindre dans ce cas (décollage plus facile).

- Traction

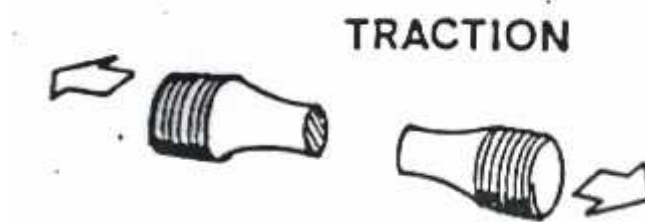


Figure 15 : Test de traction

D'une manière générale, le mot **traction** désigne l'action de tirer. En particulier, le mot est employé dans plusieurs domaines :

En physique, la **traction** est une force appliquée par des moyens mécaniques solides (forces de frottement, appliquées directement, etc.).

- Traction Cisaillement

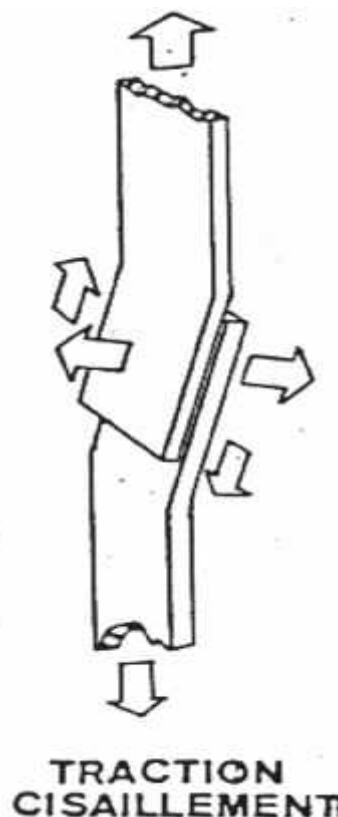


Figure 16 : Test de traction cisaillement

Pratiquement le cisaillement pur n'a jamais lieu, s'il y a traction ou compression pure. Le cisaillement pur est toujours accompagné soit d'une flexion, soit d'une

traction ou d'une compression; c'est pourquoi dans les plans de cisaillement, hormis les contraintes tangentiels, nous trouvons encore des contraintes normales.

- **Clivage**

ARRACHEMENT CLIVAGE

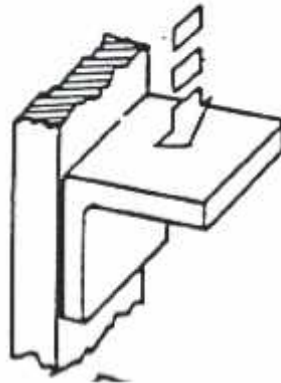


Figure 17 : Test de clivage

Le **clivage** est l'aptitude de certains minéraux à se fracturer selon des surfaces planes dans des directions privilégiées lorsqu'ils sont soumis à un effort mécanique (un choc ou une pression continue). L'existence et l'orientation des plans de clivage dépendent de la symétrie et de la structure cristalline (plans des liaisons les plus faibles du réseau) et sont donc caractéristiques des espèces.

Lorsque les surfaces de fractures sont irrégulières, on parle de cassure. Clivages et cassures sont des critères importants de détermination des minéraux.

1.2.2.6 Analyses des ruptures : cohésive/adhésive (inter faciale)



Figure 18 : Rupture cohésive, adhésive et mixte

Une fracture entre deux matériaux assemblés de manière indirecte peut se propager de deux manières : soit à l'intérieur du joint (adhésif ou colle) (il s'agit alors d'une rupture cohésive), soit à la surface (rupture adhésive). En ce qui concerne l'adhésion directe, la rupture est nécessairement adhésive.

Une rupture cohésive indique que l'interface s'est comportée de manière plus forte que le cœur du matériau adhésif ou de la colle. Inversement, pour une rupture adhésive, l'interface a été moins résistante.

Si la rupture est adhésive (à l'interface de la colle et du substrat) cela prouve ou un mauvais choix de colle, ou de mauvaises conditions opératoires comme support humide, manque de pression, etc..., mais dans certains cas c'est le but recherché: post -it par exemple.

Si la rupture est cohésive dans le substrat (souvent le cas pour le collage du papier) on ne peut faire mieux au niveau résistance et le collage est dit structural. Si la rupture cohésive se fait au niveau du film d'adhésif, la résistance peut être considérée comme insuffisante si le but était d'obtenir un collage structural. Mais parfois elle est aussi considérée comme suffisante par exemple pour le positionnement d'une étiquette.

Mais souvent le résultat est plus complexe. Dans le cas du collage du bois qui est très hétérogène au niveau résistance mécanique, contrairement à la colle très homogène, la rupture se fait partiellement dans le bois, partiellement dans le film de colle, et le collage est quand même structural (bois lamellé collé par exemple), par contre toute rupture ou décollement à l'interface bois/colle est l'indice d'un grave défaut.

1.3_ CLASSIFICATION DES COLLES A BOIS [2w, 4w, 13w, 7w]

Il existe différents types de colles, pour de multiples usages dans le secteur de la construction, et différentes classification selon leur propriétés (**colles hydrophiles et colles hydrophobes**) ou selon la méthode de prise (**prise physique ou chimique**) ou selon leur nature (**colle naturelle ou synthétique**).

1.3.1_ Classification en colle hydrophiles et hydrophobes

On peut classer les colles en deux grandes catégories :

1.3.1.1 Les colles hydrophiles

C'est à dire à base d'eau, qui ont la propriété de faire gonfler le bois, qui sont absorbées par les corps poreux. Cette colle est perméable à la vapeur d'eau et perd de son pouvoir adhésif au contact de l'eau liquide. Ce sont principalement :

- ❖ les colles animales (à base de caséine, d'albumine du sang, les colles de peau et d'os) ;
- ❖ les colles végétales (amidon, fécule, dextrine, gommes).
- ❖ les dispersions polyvinyliques ;
- ❖ les colles des latex.

1.3.1.2 Les colles hydrophobes

C'est à dire ennemies de l'eau, donc à base de solvants organiques volatils ou polymérisables. Les produits hydrophobes sont souvent lipophiles (solubles dans les corps gras), mais insolubles dans l'eau. Ce sont diverses dissolutions, les résines phénoplastes ou aminoplastes, les résines époxydes, les polyuréthanes.

1.3.2 Classification d'après la méthode de prise

La prise de la colle peut être un phénomène purement physique tel que l'évaporation d'un solvant ou un phénomène chimique. C'est quelquefois une association des deux.

1.3.2.1 Prise entièrement physique

Le polymère existe déjà dans sa forme finale, mais avant l'application il doit se présenter sous une forme liquide dans un solvant, ou, mieux, dans l'eau (évaporation), ou sous la forme fondue d'un hotmelt (durcissement). Aucune réaction chimique ne se produit).

- **Colles à base solvantée :**

Les solvants utilisés sont des composés organiques volatiles (COV) nocifs pour la santé. Leur rôle est essentiellement de dissoudre les constituants de la colle, de la fluidifier et d'améliorer le contact. Ces composés organiques représentent plus de 70% de la composition de la colle et s'évaporent complètement pendant la pose et le

séchage. Leur inhalation à donc lieu lors de l'application ainsi qu'au début de l'occupation des locaux.

Les polymères utilisés sont l'acétate de polyvinyle et les copolymères (colles à bois, revêtements muraux, packagings...) ; les caoutchoucs naturels et synthétiques (colles contact) ; le collodium ; les acrylates (enductions autoadhésives, colles moquette ...) et les polyuréthanes (colles à bois, ...)

- Les colles colloïdales naturelles :

A base de polymères naturels dissous dans de l'eau : l'amidon et la dextrine qui en est dérivée, issu des céréales ou tubercules (pommes de terre, blé, maïs...) ; la caséine, protéine extraite du lait ; la cellulose, chimiquement modifiée, extraite du bois ; la glutine des os d'animaux. Ce type de colles est utilisé pour le papier et les emballages, l'étiquetage du verre, la production de reliures, ou comme colle pour papiers peints. Attention, les polymères cités ici sont parfois également utilisés dans des colles à base solvantées.

- Les dispersions ou émulsion :

Elles diffèrent des colles à base solvantée par le choix de l'eau comme solvant, ce qui est environnementalement avantageux.

Elles incluent néanmoins des solvants en présence inférieure à 5% (éthers de glycol) qui peuvent se révéler nocifs pour la santé. Les polymères les plus utilisés pour les dispersions en phase aqueuse sont l'acétate de polyvinyle, les acrylates, les caoutchoucs, les polyuréthanes, les polychloroprènes.

- Les hotmelts (colles thermofusibles) :

Les hotmelts sont des matériaux thermoplastiques totalement sans solvant. Solides à température ambiante, ils sont fondus dans des dispositifs appropriés et appliqués à l'état liquide sur les parties à coller. Les hotmelts sont utilisés dans de nombreux secteurs, par exemple l'industrie de l'emballage (collage de carton), la fabrication des livres (collage des reliures), l'industrie du bois et de l'ameublement, l'industrie textile, les marchés de l'électronique (fixation d'éléments constructeurs), l'industrie de la chaussure.

- Les plastisols :

Les plastisols sont des colles sans solvant qui requièrent pour leur prise des températures comprises entre 140°C et 200°C. Ils consistent surtout en des dispersions de particules super fines de chlorure de polyvinyles ou de polyméthacrylate dans des plastifiants ou " agents adhésifs ".

De nos jours ils sont utilisés surtout dans la construction automobile.

1.3.2.2_ Prises principalement ou entièrement chimique

- Les colles à prise chimique :

Des colles dans lesquelles le polymère se forme par réaction chimique (polymérisation, ou réticulation). Les éléments monomères et oligomères doivent être liquides ou fusibles. La réaction chimique est provoquée par l'humidité, l'exclusion d'air, ou des durcisseurs spéciaux, la température, les UV.

- Les colles polyuréthanes :

Colles mono ou bi-composants, constituée par une de polyisocyanate et de polyester / polymère. Elles sont utilisées dans la construction d'éléments sandwichs de matériaux poreux (bois, mousse polystyrène, mousse polyuréthane et autres) et de panneaux stratifiés (plastiques) ou de métaux (aluminium). D'autres utilisations sont le collage des revêtements plastiques, de parquets, la réalisation de joints étanches. Les effets sur la santé sont principalement des désagréments cutanés et respiratoires (asthme)

- Les colles époxy :

Colles composées d'une résine, d'un durcisseur et de charges. Elles ont de nombreuses applications dans le secteur de la construction, tel que le collage de métaux. Sans solvant, elles ont un impact très limité sur la santé.

- Les colles anaérobies :

Elles sont pour la plupart des mélanges de diméthacrylates de certains diols avec de petites quantités de peroxydes et d'accélérateurs de prise. Elles se distinguent par le fait qu'elles demeurent liquides au contact de l'oxygène mais polymérisent en quelques heures en l'absence d'oxygène et au contact de métaux actifs. Elles sont utilisées notamment dans des assemblages métalliques.

- Les colles cyanoacrylates :

Les cyanoacrylates sont des colles réactives mono composantes liquides. Ces colles, qui peuvent se composer de solvants nocifs comme l'éther de glycol, sont utilisées pour le collage de revêtements de mur et sols tels que papier vinyl, toiles de verre, panneaux de liège, faïence, liège... Les colles acryliques sont plus adaptées aux milieux humides.

- Les colles acrylates:

Les acrylates bi composants (connus également sous le nom de colles A/B, colles no-mix, ou acryliques seconde génération) sont des colles à réaction rapide, qui conviennent particulièrement pour des collages métal/métal ou métal/plastique, par exemple fabrication de châssis de fenêtres.

- Les colles photoreticulables :

Elles sont basées essentiellement sur des acrylates ou des époxy. Leur polymérisation est provoquée par la lumière UV. L'avantage des colles photoréticulables sur les époxy ou les acrylates et la possibilité d'être formulés sous forme de mono composants.

- Les MS polymères :

Ces colles mono composant à base de silane modifié fabriqué à partir de MS polymères sont utilisées pour le calfeutrement élastique de joints, par exemple pour des applications dans les techniques de climatisation et de ventilation.

1.3.3_ Classification en colles naturelles et artificielles

Cette classification peut se faire sur la base de l'origine des composants, entre d'une part les colles d'origine végétale ou animale, qui correspondent aux colles « colloïdales naturelles » dans la classification globale présentée plus loin, et d'autre part les colle « de synthèse » recouvrant toutes les autres compositions.

- **Colle naturelle :**

Colle dont l'élaboration n'a pas nécessité à l'intervention des manipulations chimiques ou technologies lourdes, couteuses en énergie, polluantes et qui modifie les composants d'origine.

Les ingrédients naturels, ont subi eux peu de transformations ; principalement des transformations physiques et chimiques primaires telles que : la distillation, la cuisson, le filtrage...

Il existe des colles naturelles d'origine végétales et animales :

- Colles d'origine végétale : à base de gui, de sève de résineux, d'écorce de houx, d'huile de lin cuite, amidon, fécule, protéines de soja.
- Colles d'origine animale : obtenues par cuisson de matières riches en collagène : colle de peau de lapin, colle d'os, colle de nerf, colle de tendons, colle de poisson, gélatine, caséine, albumine.

- **Colles de synthèse ou artificiels :**

Ce sont les colles modernes : Colle vinylique (colle blanche), acrylique, aliphatique, cyanoacrylate, polyuréthane, époxy, néoprène, thermoplastique (colles thermofusibles ou hotmelt), silicone, des résines thermodurcissables (condensation du formol avec de l'urée, du phénol, du crésol, de la résorcine.

- **Colles semi-synthétiques:** colles cellulosiques, colles au caoutchouc chloré, colles de contact.

1.4_ GENERALITES SUR LA REALISATION DU COLLAGE

La structure et les ingrédients d'une essence de bois influencent considérablement sa maniabilité et ses propriétés de collage. Les essences de bois diffèrent selon leurs propriétés. Certaines essences tropicales sont par exemple assez difficiles à coller.

Coller du bois est opération simple qui permet de faire des réparations, mais aussi de réaliser des assemblages. C'est une technique couramment utilisée.

Afin de réaliser un bon collage, une colle doit mouiller les deux surfaces qui vont être assemblées, elle doit donc être fluide au moment de l'application. Pourtant le film de colle doit durcir pour acquérir sa cohésion.

La technique de collage se fait en deux étapes : la préparation de surface et le collage proprement dit.

1.4.1_ Préparation de la surface à coller

La préparation des surfaces est une phase essentielle dans l'assemblage par collage. Elle a pour premier objectif d'éliminer les contaminants et les couches superficielles de faible cohésion. Des traitements plus poussés peuvent permettre de modifier la chimie de surface afin d'augmenter la tension superficielle ou de favoriser la création de liaisons chimiques avec l'adhésif.

L'adhésif doit être appliqué peu de temps après le nettoyage afin d'éviter la recontamination de la surface. Différentes méthodes de traitement peuvent être utilisées :

➤ Les traitements mécaniques :

Leur principal objectif est de supprimer les couches de faible cohésion et d'augmenter la rugosité de surface. Diverses méthodes sont couramment mises en œuvre : le ponçage avec des toiles abrasives, le sablage, le grenaillage. A l'issue du traitement, un nettoyage des objets est toujours nécessaire pour éliminer les restes de grenaille ou d'abrasif.

➤ Les traitements chimiques :

Les traitements chimiques ont pour fonction principale: **le dégraissage.**

Le dégraissage est à la base de tous les traitements de surface. Son objectif est d'éliminer les matières grasses et également les poussières et autres agents formant une couche intermédiaire de faible cohésion. Il s'agit de dégraisser les bois gras avec un chiffon mouillé de trichloréthylène ou de dégraissant (acétone).

En effet, l'adhérence de la **colle** sera d'autant plus importante que la surface sera dépoussiérée et dégraissée.

1.4.2_ Etapes de collage

➤ Étaler la colle en couche fine et régulière.

- Mettre en contact les surfaces encollées (accostage, formage, pliage éventuel).
- Serrer l'assemblage à l'aide de serre-joints. Des cales assurent le maintien des pièces assemblées et les protègent des marques de serre-joints.
- Durcir la colle par séchage ou "cuisson" (fours ou étuves, air chaud, presse à plateaux chauffants, autoclave) et évacuation et entreposage des pièces.

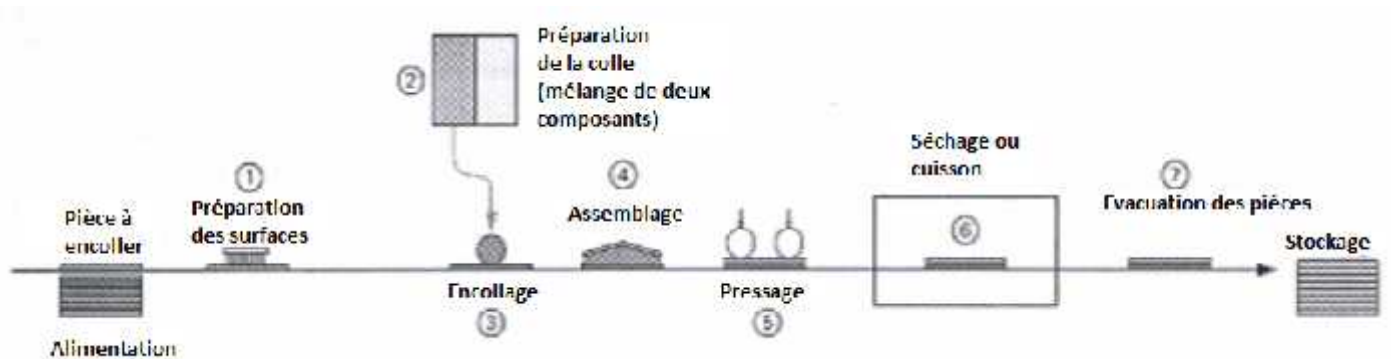


Figure 19 : Technique de collage

CHAPITRE- 2: GENERALITES SUR LE BOIS

2.1_ INTRODUCTION [15w, 16])

Le bois est un matériau naturel rigide, résistant et isolant, obtenu à partir du tronc et des branches des arbres. Dans les arbres, le bois joue trois fonctions notamment, la conduction de la sève brute de la racine vers les branches, le soutien de l'ensemble de l'arbre contre son poids et les forces extérieures (du vent) et la réserve des substances nutritives comme l'amidon.

Il s'agit d'un des matériaux les plus appréciés pour ses propriétés mécaniques, pour son pouvoir calorifique et comme matière première pour de multiples branches industrielles. Il a de nombreux usages dans la construction, l'ameublement, la fabrication d'outils et d'objets artistiques et l'industrie (industries papetières, industries chimiques...), et en tant que combustible.

Pour les spécialistes du "matériau bois", les bois se distinguent selon leurs propriétés mécaniques et chimiques (bois durs et bois tendres) mais aussi par bon nombre de propriétés particulières (dureté, veinage, résistance à la déformation, couleur, etc.) qui amènent le spécialiste à choisir ses essences en fonction de leur utilisation.

Le bois, malgré ses caractéristiques remarquables, souffre de son anisotropie (c'est à dire de l'inégalité de ses propriétés dans les différentes directions de l'espace). Aussi, de nombreux dérivés (contreplaqués, lamellés collés, agglomérés, etc.) ont été mis au point pour améliorer ses propriétés.

2.2_ STRUCTURE DU BOIS

2.2.1_ Structure macroscopique du tronc d'arbre [6]

L'œil permet une appréciation globale de l'aspect général du bois et de la disposition de ses tissus les plus apparents.

Les différents tissus végétaux sur la coupe d'un arbre se répartissent de façon concentrique. On distingue en partant de l'extérieur du tronc :

- **L'écorce** : Elle est composée par des cellules mortes. Elle est imperméable mais permet des échanges gazeux pour la respiration des cellules du phellogène, du cambium et de l'aubier qui constituent les tissus vivants sous-jacents.

- **Le liber** : La plupart des cellules qui le composent sont mortes. La partie la plus interne du liber possède des canaux qui amènent la sève élaborée des feuilles aux cellules du cambium.
- **Le cambium** : C'est là que se produit la croissance de l'arbre en épaisseur. C'est une couche visible au microscope constituée de cellules vivantes. Ce méristème secondaire produit le bois d'aubier vers l'intérieur et le liber vers l'extérieur de tronc.
- **L'aubier** : Il est composé de cellules plus ou moins vivantes en voie de duraminisation. Ces cellules transportent la sève brute des racines aux feuilles.
- **Le duramen** : Il est composé de cellules mortes qui ont fini d'évoluer. Les cernes marquent les couches successives d'aubiers superposées au cours des années. C'est le support de l'arbre que l'on nomme aussi le bois parfait.
- **La moelle** : C'est le tissu végétal un peu mou au centre du tronc. Il se forme au début de la croissance de l'arbre et ne se modifie pas.

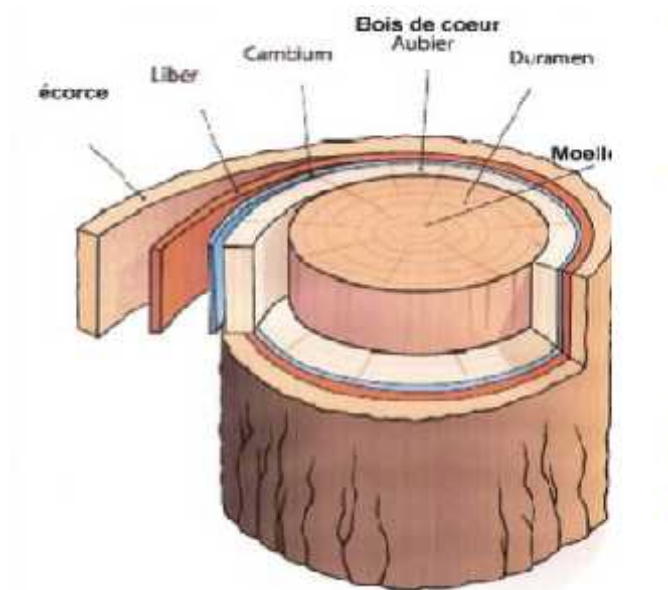


Figure 20 : coupe transversal du tronc d'arbre

2.2.2 Structure microscopique du tronc d'arbre [7, 17w, 20w]

Pour l'ébéniste, il n'existe que deux types de bois : les bois durs et les bois tendres.

Les essences de bois dur font partie en botanique du sous-embranchement de l'angiosperme (ou feuillue : chêne, hêtre, tilleul, bouleau, merisier, etc.) qui, après fécondation des fleurs, produisent des fruits ou des noix. Ces arbres ont de larges feuilles par opposition aux aiguilles des conifères. En règle générale, les essences à bois dur qui poussent sous les Tropiques et dans l'hémisphère sud sont des arbres à feuilles persistantes, contrairement à celles des régions tempérées dont les feuilles tombent à l'automne pour leur permettre de survivre au froid de l'hiver.

Au cours de sa croissance, un arbre à bois dur ne cesse de former des fourches et de se subdiviser en branches de plus en plus petites, ce qui lui confère un port large par opposition au port conique caractéristique des essences à bois tendre.

Les bois durs ont une espérance de vie plus grande que les bois tendres, mais aussi des densités, des duretés, des vinages et des couleurs bien plus variées. Ils se prêtent donc à toutes sortes d'utilisations. Le noyer et l'acajou, par exemple, qui sont des bois solides et stables, qui ne se déforment pas, se prêtent idéalement aux travaux de menuiserie et d'ébénisterie.



Chêne



Acajou



Noyer



Hêtre

Photo 1 : Exemples de bois durs ou feuillis

Les bois tendres proviennent d'arbres appartenant en botanique, au sous-embranchement des gymnospermes (résineux ou conifères : pins, sapins, épicéas, thuyas, cyprès, etc.) ou plantes à graines nues. Ces arbres n'ont pas de fleurs, mais des graines groupées en cônes, d'où le nom de conifères qu'on leur donne aussi.

La plupart des essences à bois tendre sont des arbres à feuillage persistant, conservant donc leurs feuilles en forme d'aiguille tout au long de l'hiver, mais quelques-uns, comme le mélèze, sont à feuilles caduques, c'est-à-dire qu'ils perdent leurs aiguilles en hiver et en développent de nouvelles au printemps.

La plupart des essences à bois tendre ont une croissance rapide. Dotées d'un seul tronc et de branches latérales, elles ont un port conique, comme en témoigne l'épicéa de Norvège, cultivé depuis le XIXe siècle à des fins commerciales pour servir d'arbre de Noël.

Les essences à bois tendre ayant généralement une croissance rapide, leur culture est facile et économique. C'est pourquoi ce sont les essences les plus commercialisées. Leur grand tronc rectiligne présente l'avantage d'être long, mais l'épaisseur de leurs cernes fait que le bois se fend facilement et ne convient pas à la fabrication de meubles de haute qualité.



Sapin



Cyprès



Epicéa



Pin

Photo 2 : Exemples de bois tendres résineux

Ces bois diffèrent par les cellules qui les composent.

Les feuillus présentent dans sa structure une diversité beaucoup plus grande que les résineux et possèdent différents types de cellules (vaisseaux, de rayons ligneux, trachéides et cellules parenchymes). Les rôles de conduction de la sève et de soutien mécanique sont assurés par des types de cellules différentes (vaisseaux, fibres).

Le bois est complexe, les cellules ont un rôle physiologique plus spécifique, leur plan ligneux est plus varié et l'identification des essences généralement plus facile.

Les résineux présentent une organisation relativement simple et uniforme ; ils sont constitués de deux types de cellules, les trachéides et les cellules parenchymes. Les cellules longitudinales (trachéides) remplissent la double fonction de conduction et de soutien. Les parenchymes assurent la répartition et l'emmagasinement des substances.

Ce qui différencie principalement le bois des feuillus du bois des résineux est la présence de pores, ou de vaisseaux

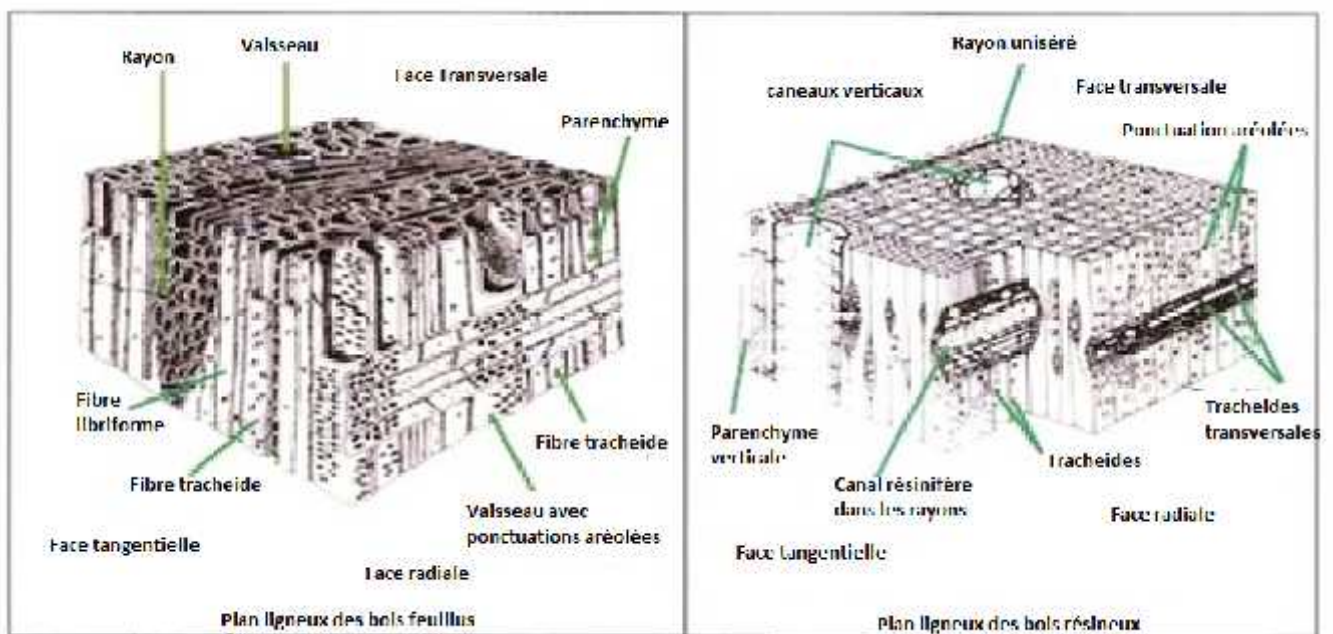


Figure 21: Structure microscopique du tronc d'arbre

2.3_ CONSTITUTION CHIMIQUE DU BOIS [16w, 18w]

La composition chimique élémentaire du bois varie suivant les espèces.

- **Au niveau moléculaire**

Il est constitué d'environ 50 % de carbone, 42 % d'oxygène, 6 % d'hydrogène, 1 % d'azote et 1 % de minéraux (principalement Ca, K, Na, Mg, Fe, Mn).

On trouve également du soufre, du chlore, du silicium, du phosphore, et d'autres éléments en faible quantité.

- **Au niveau cellulaire**

Il est composé essentiellement de principalement de matières organiques (**cellulose, lignine, et les hémicelluloses.**) et d'un faible pourcentage (de 1 à 1,5 %) d'éléments minéraux. Il contient également une part d'humidité variable.

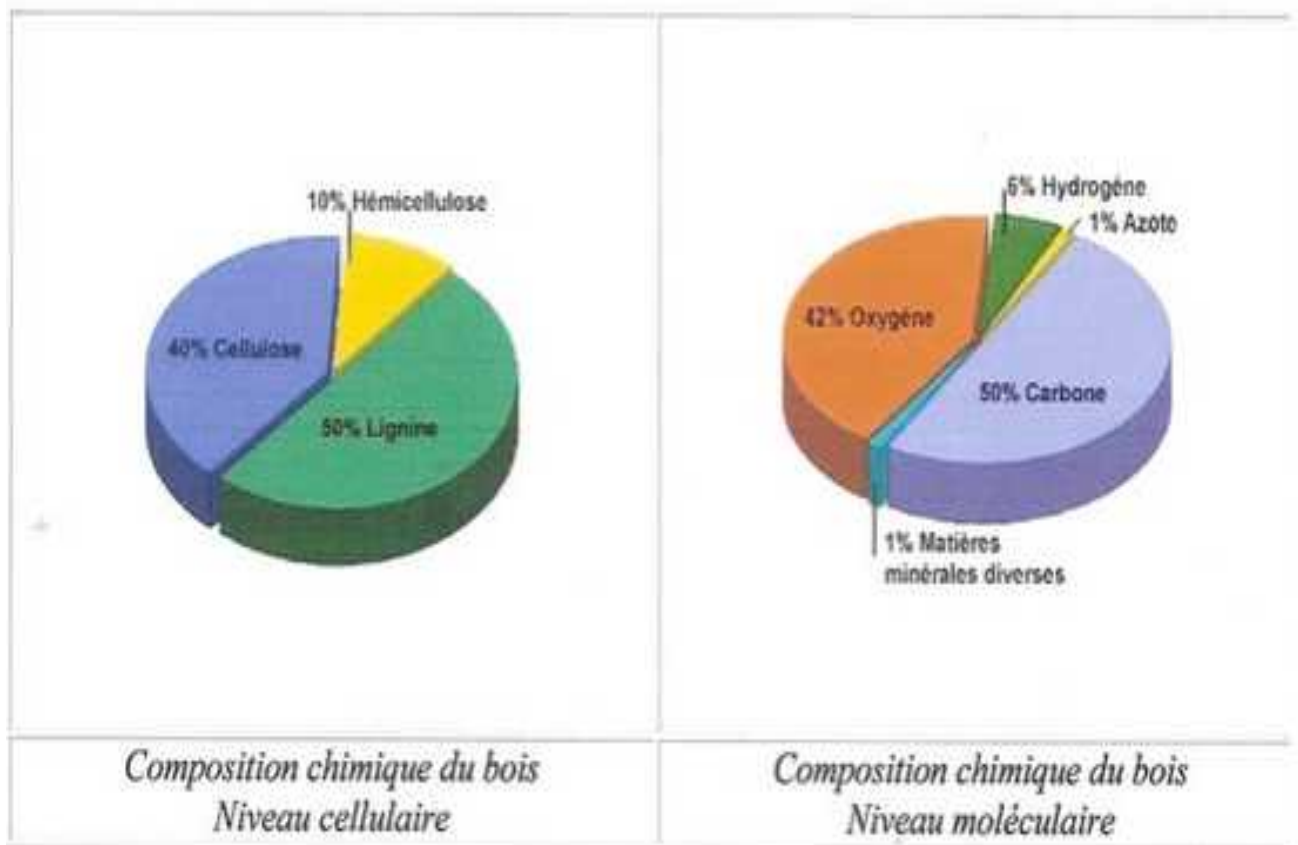


Figure 22: Composition chimique du bois

2.3.1_ La cellulose [19w]

La cellulose est une macromolécule formée de cycles enchaînés linéairement, c'est-à-dire environ 500 à 5000 unités monomères de glucose reliées les unes aux

autres par des liaisons β -1,4-glycosidiques ; le motif est un motif de cellobiose. Les différentes chaînes placées côte à côte sont liées par de nombreuses liaisons hydrogène ce qui donne à ce matériau une très grande rigidité et qui explique qu'elle est la substance de soutien (parois) des cellules jeunes des végétaux (elle n'est pas seulement présente dans le bois)

Elle représente de 40 à 50 % de la masse de matière sèche.

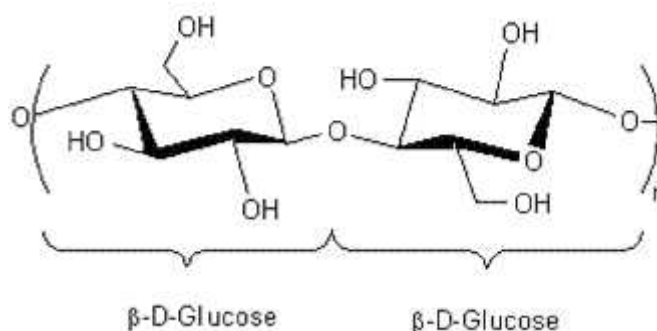


Figure 23 : Motif du cellobiose

La cellulose est un homopolymère linéaire composé de très nombreuses unités de DAnhydroglucopyranose (AGU) reliées entre elles par des liaisons glycosidiques

-(1 4). Le motif de répétition est le dimère cellobiose. Les AGU se trouvent en conformation chaise et possèdent 3 fonctions hydroxyles : 2 alcools secondaires (en position 2 et 3) et un alcool primaire (en position 6). Ces fonctions hydroxyles, ainsi que les liaisons glycosidiques, se situent en position équatoriale par rapport au plan du cycle ce qui entraîne donc que les hydrogènes du cycle se trouvent en position axiale.

Le degré de polymérisation diffère énormément selon l'origine de la cellulose ; sa valeur peut varier de quelques centaines à quelques dizaines de milliers.

2.3.2 La lignine [8]

La **lignine**, polymère phénolique, constitue la matrice de la paroi cellulaire et représente de 23 à 33 % de la masse sèche chez les résineux et de 16 à 23 % chez les feuillus.

La lignine (ou plutôt les lignines) est un polymère complexe, non linéaire, constitué de monomères constitués d'un squelette phényl-propane (cycle de 6 carbones. chaîne à 3 carbones).

Sa biosynthèse au sein de la matière végétale est assurée par un couplage de trois monomères alcools phenylpropane différents : les alcools coumarylique, coniférylique, et sinapylique. La synthèse de lignine est réalisée dans la nature par l'action d'enzymes qui après polymérisation oxydative des trois monomères forme les unités ou noyaux phydroxyphenyl (H), guaiacyl (G) et syringyl (S).

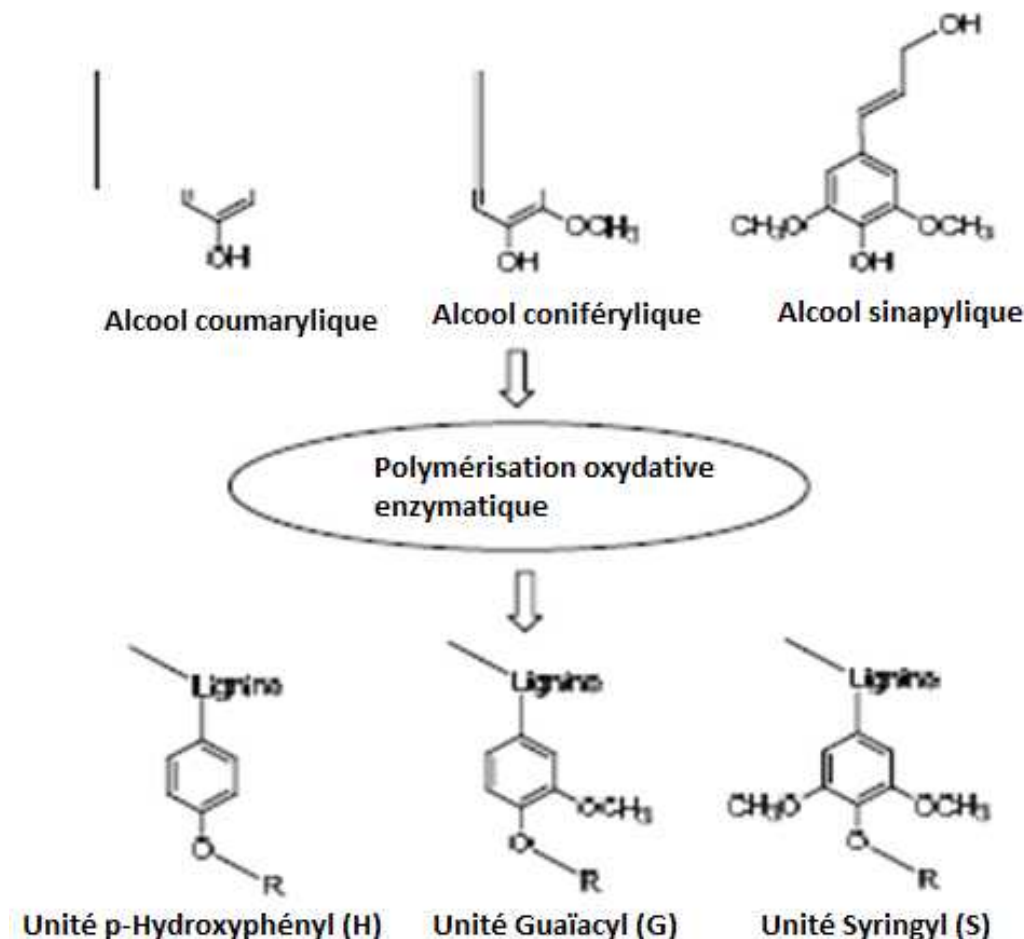


Figure 24 : synthèse de la lignine

La distribution de chaque monomère au sein de la structure de lignine varie de façon importante en fonction de la nature du végétale : gymnosperme, angiosperme monocotylédone et angiosperme dicotylédone.

Les gymnospermes sont principalement présentes dans les arbres conifères feuillus et/ou résineux comme le pin, le chêne ou l'épicéa et contiennent presque exclusivement l'unité G. Les Angiospermes sont présents dans les plantes à fleurs

comme les céréales, les légumes, les fruits etc... Deux catégories d'angiospermes sont toutefois observées :

- Les dicotylédones qui contiennent presque exclusivement les deux unités G et S
- Les monocotylédones qui contiennent les trois unités G, S et H.

La lignification donne au bois de nouvelles propriétés et en particulier une grande hydrophobie. Ceci a plusieurs conséquences :

- Dans la plante, l'hydrophobie de la lignine est un élément majeur de la bonne circulation de la sève
- Le bois coupé et séché (matériau) a une densité inférieure à 1. Placé dans l'eau, il continue de flotter car il ne s'imbibe pas d'eau grâce à la lignine.

La lignine agit comme un ciment entre les fibres du bois et comme élément rigidifiant à l'intérieur des fibres.

Les lignines de feuillus ayant plus de groupements méthoxy, présentent moins de liaisons intermoléculaires (liaisons hydrogène) et sont par conséquent plus facilement dissoutes.

2.3.3_ Les hémicelluloses

Les **hémicelluloses**, polymères ramifiés à basse masse molaire, sont constituées de sucres en C5 (pentoses) ou C6 (hexoses)...

Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchements différents) et donc mal définis. La classe la mieux étudiée correspond aux xyloglucanes. Ils sont constitués d'une chaîne de glucose (bêta 1-4) et de courtes chaînes latérales de xylose, galactose et fucose.

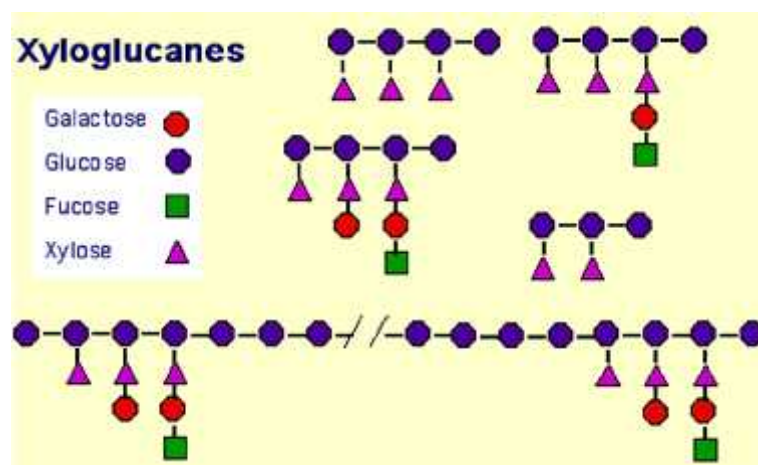


Figure 25 : xyloglucanes

2.3.4 Les matières extractibles du bois

On désigne ainsi d'autres matières présentes dans les différents bois en quantités plus ou moins importantes :

- Des résines par exemple, molécules formées à partir d'acides gras et de terpènes, comme par exemple la térébenthine, l'acide abiétique (ou colophane), l'huile de pin.
- Les tanins qui sont des composés phénoliques que l'on extrait notamment de l'écorce des pins des mimosas, des chênes et des châtaigniers.
- Des huiles aromatiques (huile de cèdre, huile de cade).
- Des sucres hydrosolubles (sucre d'érable).
- Du latex qui devient du caoutchouc (latex de l'hévéa).

2.4 CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES PHYSICO MECANQUES DU BOIS

2.4.1 Les caractéristiques du bois [9]

Essentiellement, trois caractéristiques fondamentales distinguent le matériau bois des autres matériaux utilisés dans l'industrie. Ces trois caractéristiques peuvent se résumer en trois mots clés : l'hétérogénéité, l'hygroscopicité et l'anisotropie.

- **L'hétérogénéité**, où la grande variabilité dans les composantes du bois, font qu'il n'existe pas deux pièces de bois parfaitement identiques, même au sein d'une même espèce.
- **L'hygroscopicité**, comparable aux propriétés d'une éponge, fait que le bois a la capacité d'ajuster sa teneur en humidité, soit en plus (gonflement) ou en moins (retrait), aux conditions d'humidité de l'air ambiant.
- Pour sa part, **l'anisotropie** signifie que les propriétés du bois vont varier suivant l'orientation des fibres. Ainsi les propriétés vont varier dans le sens de la longueur des fibres (plan longitudinal); dans le sens des rayons ligneux (plan radial); dans le sens perpendiculaire aux fibres (plan transversal) ou encore par rapport aux cernes annuels de croissance (plan tangentiel).

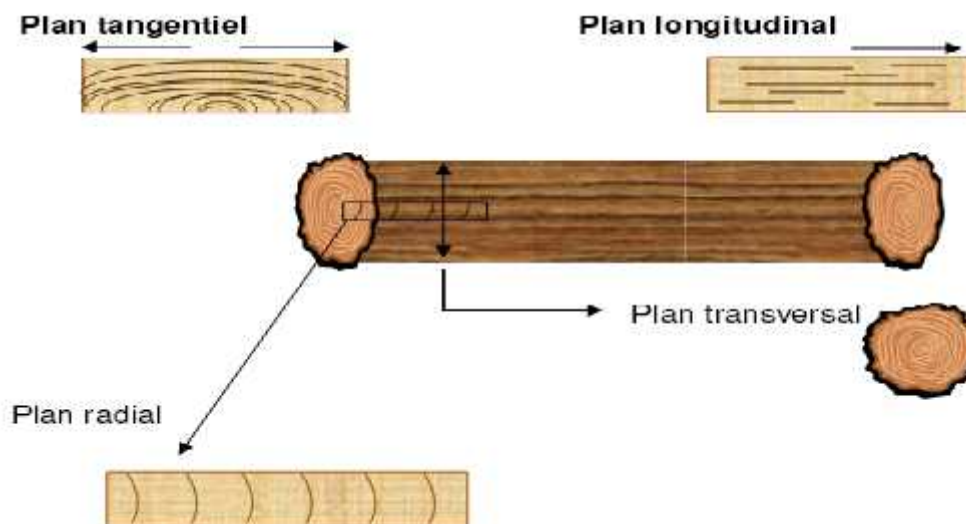


Figure 26 : Plan tangentiel, longitudinal, transversal

2.4.2_ Principales propriétés du bois

2.4.2.1_ Densité

La **densité** d'un bois est un paramètre très important. La plupart des propriétés mécaniques et technologiques en dépendent directement. Sa facilité de mesure ou d'estimation en fait donc un critère qualitatif de choix. La densité du bois représente une grandeur particulière dans la mesure où le matériau est poreux, hétérogène et hygroscopique. La densité vraie de la matière ligneuse dépend assez peu de l'essence considérée. Elle est toujours voisine de 1,53. Le rapport de la densité apparente à la densité vraie mesure la **porosité du bois**. Sauf à l'état anhydre, le bois contient toujours de l'eau (eau libre et eau liée). Cette présence d'eau a une influence directe sur la masse de l'échantillon mais également sur ses dimensions (phénomènes de retrait et de gonflement). La densité d'un bois sera toujours précisée pour un degré d'humidité donné.

La densité du bois est un excellent indicateur de sa résistance mécanique. Sauf exception, plus la densité du bois sera élevée, plus grande sa résistance mécanique. Le ratio résistance mécanique/densité est très élevé. A résistance mécanique égale, le bois est le matériau de structure le plus léger. A titre d'exemple, le poids d'une poutre de 3 m de longueur, capable de supporter 20 tonnes, sera

d'environ 60 kg pour une poutre en épinette, de 80 kg pour une poutre d'acier et de 300 kg pour une poutre en béton armé.

2.4.2.2 Retrait / gonflement

Lorsque la teneur en humidité varie, le bois change de dimension. Ce phénomène va varier suivant l'orientation des fibres du bois, de son pourcentage d'humidité, de sa densité et de sa position dans les différentes parties de l'arbre.

Plus un bois sera dense, plus le phénomène de retrait/gonflement va s'accroître. En moyenne, le retrait sera deux fois plus important dans le plan tangentiel par rapport au plan radial et sera négligeable dans le plan longitudinal.

2.4.2.3 Masse volumique et densité

Par définition, la masse volumique est le rapport entre sa masse (air) et son volume (air) exprimé en gr/cm^3 ou en kg/m^3 . Pour sa part, la densité du bois est également le rapport entre la masse (air) et le volume de la pièce mesuré à partir de la masse d'un même volume d'eau. Dans le cas d'un matériau comme le bois, le volume va varier suivant le pourcentage d'humidité, par conséquent fera varier sa densité. Ainsi, selon les utilisateurs et les utilisations, trois expressions de densités sont généralement retenues.

2.5 SECHAGE DU BOIS

2.5.1 Définition [21w]

Le séchage du bois est le processus par lequel on amène du bois frais au taux d'humidité souhaité pour son utilisation c'est aussi la circulation de l'eau du centre de la pièce vers les surfaces et l'évaporation en surface.

Le bois subit des variations dimensionnelles et des déformations quand son taux d'humidité varie. En conséquence, si l'on met en œuvre une pièce de bois (dans un meuble par exemple) et que son humidité varie ensuite, elle n'aura plus les mêmes dimensions, voire plus la même forme. Les pièces peuvent alors se disjoindre ou se fendre sous l'action des assemblages.

Le séchage des bois est nécessaire, qu'il s'agisse de bois tendres ou de bois durs. Naturellement, il faut que le séchage ait lieu avant l'utilisation. On ne peut employer du bois vert provenant d'une grume récemment abattue ; vous concevez qu'un ouvrage exécuté en bois vert ne tarderait pas, en séchant, à se déformer, à gauchir.

2.5.2_ Méthodes de séchage [21w, 22w]

Deux méthodes de séchage sont employées : le *séchage naturel* ou *lent* et le *séchage artificiel* ou *accéléré*.

Le séchage naturel est l'évaporation de l'humidité par l'exposition des bois à l'air libre. Il est lent, car on admet généralement une année par centimètre d'épaisseur; ainsi, pour une planche de 4 centimètres le séchage demanderait 4 ans, cette cadence pouvant être cependant accélérée par un empilage rationnel.

Le taux d'humidité d'un bois sec séché naturellement, dit sec à l'air, varie de 13 à 17 %. Il n'est jamais inférieur à 13 %, ce qui n'est pas suffisant pour certains travaux.

Le séchage naturel se fait en trois temps :

- L'**essuyage** qui est l'exposition provisoire à la scierie des planches de bois tendres et résineux, fraîchement sciées,
- L'**empilage**, qui consiste à disposer en pile à l'air libre les bois à sécher ; le bois demeure en piles jusqu'à ce qu'il soit devenu sec à l'air, jusqu'à ce qu'il ne risque plus de s'endommager bois sur bois. Ce degré de séchage peut s'apprécier par des procédés empiriques, tels que le son, mais il vaut mieux utiliser des procédés scientifiques, tels que l'hygromètre électrique.
- L'**emmagasinage** qui a pour but de soustraire le bois à l'humidité extérieure ; le bois est empilé à l'abri dans les magasins pour le séchage définitif.

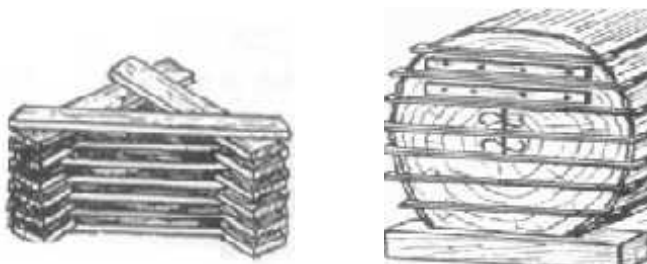


Figure 27: *Empilage*

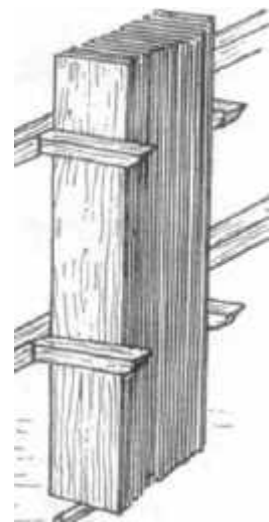


Figure 28 : *Emmagasinage*

Le séchage artificiel

Permet d'évacuer l'humidité du bois plus rapidement et plus complètement que par l'exposition à l'air.

Actuellement, on emploie couramment le séchage artificiel, pour obtenir des bois ayant un degré d'humidité inférieur à l'état du bois sec à l'air, par exemple pour certains travaux destinés à des pièces très chauffées qui exigent un bois très sec afin d'éviter des déformations.

Un bois très sec a un taux d'humidité de 7 à 8 % seulement.

Les différents procédés d'accélération de séchage qui constituent ce qu'on appelle aussi le séchage artificiel sont :

- **Le dessévage**

Un des procédés avantageux consiste à remplacer la sève des grumes de bois vert par de l'eau : c'est le **dessévage**, autrement dit l'élimination de la sève.

En particulier, son intérêt est d'éliminer l'amidon de la sève qui serait par la suite mangé par les insectes et détruit par les champignons : les bois se conservent donc mieux.

Le dessévage se fait par **flottage** avant débit ou **à la vapeur** après débit.

- Pour le flottage avant débit deux méthodes peuvent être employées :
 - *Flottage à l'eau chaude* : la sève est soluble dans l'eau chaude ; toutefois la température ne doit pas être trop élevée, sinon la sève se coagule. Ce procédé est peu employé.
 - Flottage de rivière ou en étang

Le bois est immergé dans l'eau courante pendant une durée de 15 jours à 1 mois ou plus, ou dans de l'eau stagnante pendant 1 à 2 mois. Le bois est ensuite empilé pour le séchage.

- Pour le dessévage à la vapeur après débit, c'est ce qu'on appelle l'étuvage.

Les planches sont empilées sans épingles dans une chambre bien close en maçonnerie appelée étuve. On introduit de la vapeur de telle manière que la température soit d'environ 80°. Le bois se ramollit, les tissus se distendent et sont pénétrés par la vapeur qui entraîne l'eau séveuse. Le bois est dessévé quand l'eau, sortant de l'étuve, n'a plus de coloration.

Les planches sont sorties de l'étuve et exposées à l'air pendant 1 à 3 mois : c'est l'essuyage ; on les empile ensuite dans les magasins.

- **le séchage à l'air chaud et humide.**

Les bois sont empilés sur épingles dans un séchoir. Un courant d'air chaud et humide passe entre les planches et absorbe l'humidité du bois.

2.5.3_ Taux d'humidité de bois [23w, 24w]

2.5.3.1_ Calcul du taux d'humidité

Le taux d'humidité du bois peut être calculé selon deux approches différentes, donnant deux résultats différents, mais qui veulent dire la même chose quand on les met dans leur contexte respectif. Le taux d'humidité, se mesurant en pourcentage (%), est nécessairement en comparaison avec quelque chose. Or, c'est justement ce point de comparaison qui diffère d'un point de vue à l'autre et qui donne lieu à deux résultats différents. Pour bien comprendre, il faut diviser la bûche en deux composantes : du bois et de l'eau. (Bûche = bois + eau)

- **Méthode1: La base humide**

Taux d'humidité basé sur le poids de la bûche incluant l'eau. Le poids de l'eau est comparé au poids total de la bûche. Le résultat donne directement la quantité d'eau contenue dans la bûche.

- **Méthode 2: La base sèche**

Taux d'humidité basé sur le poids de la bûche excluant l'eau. Le poids de l'eau est comparé au poids du bois seulement. Le résultat donne directement la proportion d'eau et de bois dans la bûche.

2.5.3.2_ Comparaison des bois sec et humide [24w]

Tableau 2 : Comparaison des bois secs et humides

<http://www.flamespace.fr/comment-reconnaitre-un-bois-sec-dun-bois-humide/>

(13-07-2014)

BOIS SEC	BOIS HUMIDE
Il est plus léger qu'un bois humide	A une masse volumique plus élevée que le bois sec : il est lourd
Il présente généralement de larges fentes	Il est peu fendu
L'écorce a tendance à se détacher	L'écorce est ferme, avec de la mousse verte ou spongieuse et parfois une couleur noire (champignons)
Deux bûches légèrement heurtées entre elles produisent un tintement clair	Deux bûches légèrement heurtées entre elles produisent un son sourd
Lorsqu'il brûle, des flammes bleues apparaissent rapidement	Lorsqu'il brûle, il produit de grandes flammes jaunes, il émet malgré tout un rayonnement trompeur, il a tendance à suinter aux extrémités, il « chante », il émet souvent une fumée dense en début de feu
Il chauffe bien (rayonnement probant).	Il chauffe mal, voire pas du tout, il goudronne le conduit.

CHAPITRE - 3 : ETUDE SUR L'AMIDON, LA CASEINE ET LA GELATINE

3.1 L'AMIDON

3.1.1_ Introduction

Les plantes amylacées tropicales telles que manioc, patates douces et pomme de terre poussent en abondance sans apport d'intrants artificiels ou presque. Ces productions agricoles contiennent en majorité de l'amidon qui occupe une place prépondérante dans la vie humaine assez bien dans l'alimentation que dans l'industrialisation non alimentaire.

L'utilisation de l'amidon en raison de ses qualités conduit au développement de nouveaux produits.

Notre travail consistera à montrer qu'on peut fabriquer de la colle à bois à partir de l'amidon après avoir évoqué les sources de production et les propriétés de l'amidon.

3.1.2_ Source de production de l'amidon [25w, 26w]

L'**amidon** (du latin *amylum*, non moulu) est un glucide complexe (polysaccharide) composé de chaînes de molécules de D-glucose. Pour les végétaux, il s'agit d'une molécule de réserve d'énergie et de nutriment, nécessaire pour survivre à la mauvaise saison (sèche ou froide) et un constituant essentiel de l'alimentation humaine.

3.1.2.1_ Synthèse de l'amidon

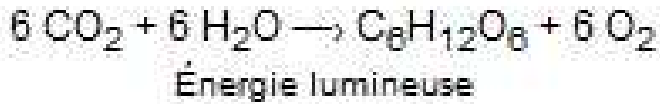
La lumière permet la production d'amidon : c'est la photosynthèse.

La photosynthèse est le mécanisme qui permet à la plante d'utiliser l'énergie lumineuse pour effectuer la transformation de molécules simples en matière organique. Elle a lieu dans des structures cellulaires spécifiques, les chloroplastes. La photosynthèse participe au métabolisme des plantes, au même titre que la respiration.

- **Le mécanisme de la photosynthèse**

La photosynthèse a généralement lieu dans les feuilles. Les cellules des feuilles renferment de nombreux chloroplastes (jusqu'à 50 par cellule). Ces organites contiennent un pigment vert, la chlorophylle, capable de capter l'énergie lumineuse. Cette énergie sert à fabriquer des molécules de sucres à partir de l'eau puisée dans

le sol par les racines et du gaz carbonique de l'atmosphère, capté par les feuilles. Les sucres produits par photosynthèse sont ensuite distribués dans toute la plante. L'équation générale de la photosynthèse est :



La photosynthèse peut être résumée en 2 phases :

- **La phase lumineuse** qui nécessite l'éclairage de la feuille. La chlorophylle qui est enchâssée dans la membrane des thylakoïdes absorbe l'énergie lumineuse. Cette absorption d'énergie s'accompagne de la dégradation de molécules d'eau et de la libération d'oxygène.
- **La phase obscure** (phase indépendante de la lumière): l'énergie absorbée par la chlorophylle est utilisée pour la transformation de molécules de gaz carbonique en molécules de sucres.

Les sucres fabriqués par la photosynthèse sont emmagasinés dans la cellule sous forme d'amidon, transformés en d'autres molécules organiques, comme les protéines, ou dégradés dans les mitochondries lors de la respiration pour subvenir aux besoins énergétiques de la plante.

3.1.2.2_ Origine botanique (28w)

L'amidon se trouve dans les organes de réserves de nombreuses plantes :

- les graines (en particulier les céréales (maïs, froment)) et les légumineuses,
- les racines,
- les tubercules et rhizomes (pomme de terre, patate douce, manioc, etc.) ; dans ce cas il est appelé féculé,
- les fruits (la banane à l'état non mûr qui sera hydrolysée en des molécules de glucose par des enzymes, ce qui donne son caractère mûr).

3.1.3_ Structure physique et chimique de l'amidon (28w, 18w)

Il se présente sous la forme de grains formés de zones concentriques alternativement claires et sombres, entourant un centre plus foncé appelé « hile » qui est le centre initial de croissance du grain

La grosseur, la forme et la structure de ces grains sont variables avec la plante dont provient l'amidon. Il n'existe donc pas un seul mais plusieurs amidons ayant des propriétés voisines, mais légèrement différentes selon leur origine.

GRAIN D'AMIDON

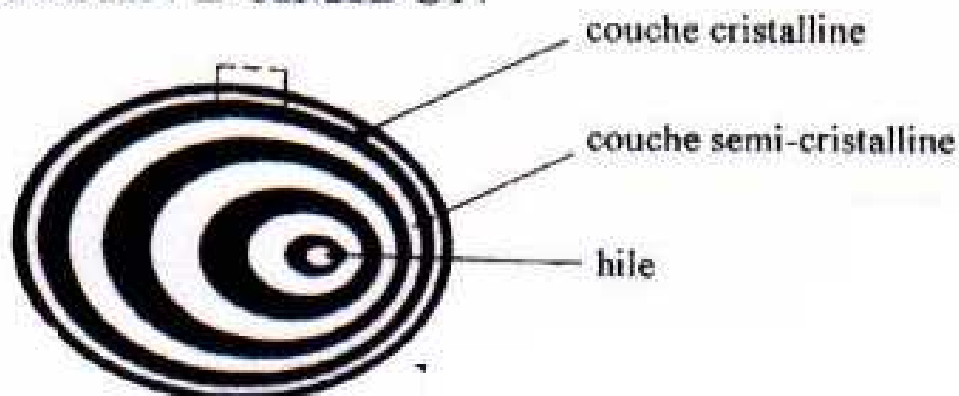


Figure 29 : structure de grain d'amidon

L'amidon est un mélange de deux homopolymères, l'amylose et l'amylopectine composés d'unités D-anhydroglucopyranose (AGU) qui appartiennent à la famille des polysaccharides (ou polysides) de formule chimique générale $(C_6H_{10}O_5)_n$. Les unités AGU sont liées entre elles par des liaisons (1-4), en général caractéristiques des polysides de réserve (à l'exception de l'inuline) et des liaisons (1-6) qui sont à l'origine de ramifications dans la structure de la molécule.

L'amylose, légèrement ramifié avec de courtes branches et dont la masse moléculaire peut être comprise entre 10 000 et 1 000 000 Dalton. La molécule est formée de 600 à 1 000 molécules de glucose.

L'amylose est une structure linéaire constituée par un enchaînement de résidus de D-glucose. L'amylose représente 20 à 30% de la masse en amidon mais on peut caractériser des variétés botaniques où cette teneur est de l'ordre de 70% (amylomais) voire même voisine de 0% (waxy maïs).

L'amylopectine ou isoamylose, molécule ramifiée avec de longues branches toutes les 24 à 30 unités glucose par l'intermédiaire des liaisons (1-6). Sa masse

moléculaire peut aller de 1 000 000 à 100 000 000 Dalton, selon les estimations scientifiques et son niveau de branchement est de l'ordre de 5 %. La chaîne totale peut faire entre 10 000 et 100 000 unités glucose.

L'amylopectine est une structure ramifiée plus abondante que l'amylose. Elle représente 70 à 80% de la masse en amidon mais on peut caractériser des amidons cireux où la teneur en amylopectine peut atteindre 99% (waxy maïs). Les molécules de D-glucose (jusqu'à 2 millions de résidus) sont reliées entre elles par des liaisons 1,4 glycosidique (comme dans l'amylose) mais aussi par des liaisons 1,6 glycosidiques donnant à l'amylopectine une structure arborescente. Les points de branchement sont répartis tous les 20 à 30 résidus de glucose (dans le glycogène la fréquence des ramifications est tous les 6 à 7 résidus de glucose). La molécule d'amylopectine possède des masses molaires beaucoup plus élevées de l'ordre de plusieurs millions ($M = 108 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

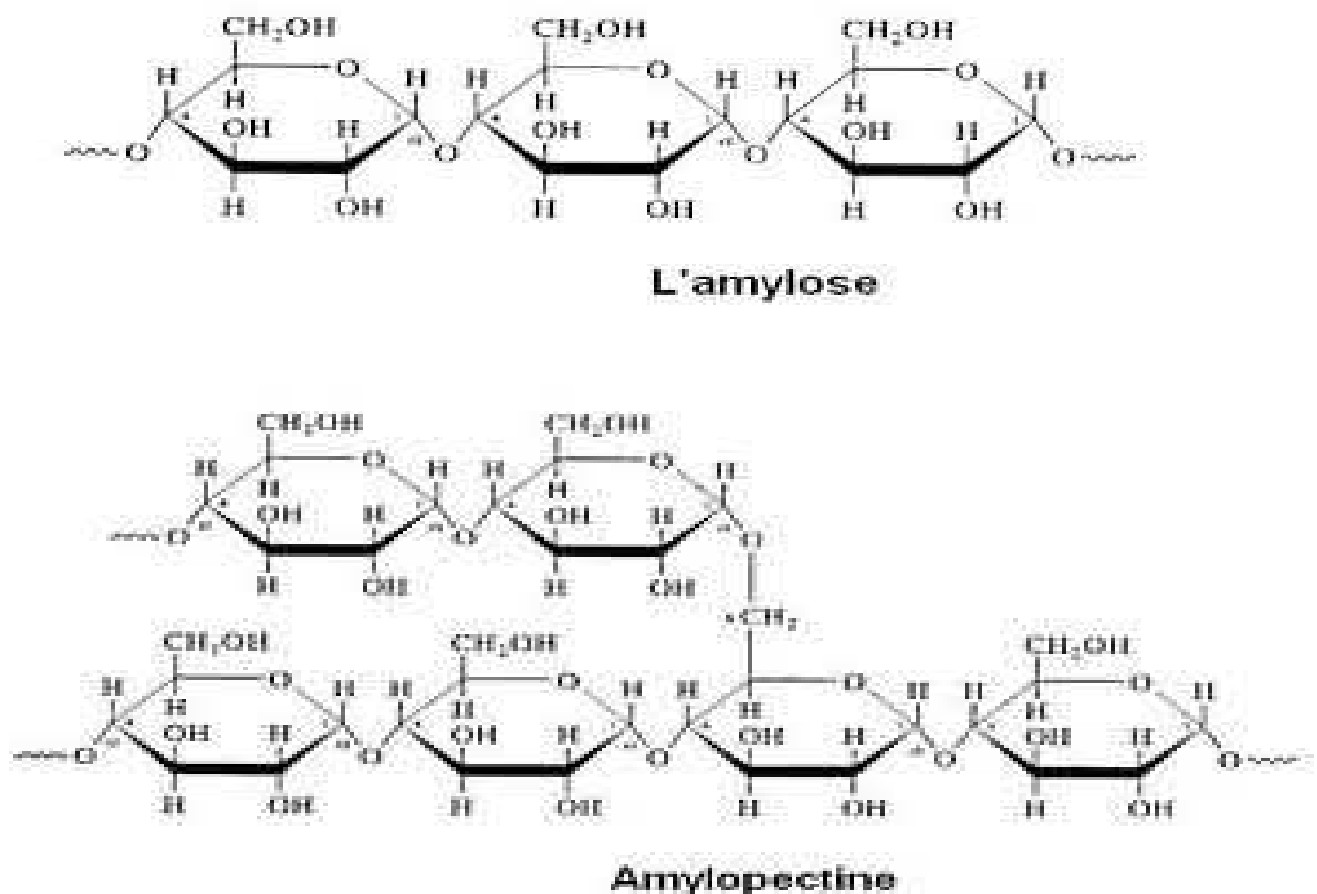


Figure 30 : Structure de l'amylose et amylopectine

3.1.4_ Propriétés de l'amidon [27w, 28w]

3.1.4.1_ Propriétés physiques

L'amidon a, comme tout produit, des propriétés physiques qui lui sont propres.

Elles sont très diverses, mais celles qui portent le plus d'intérêt pour les industries sont :

- **La température de fusion** : température au cours de laquelle l'amidon se liquéfie
- **La masse volumique**
- **La solubilité**
- **La température d'auto-inflammation** (ou *d'auto-ignition*) : température à partir de laquelle un gaz ou une vapeur s'enflamme spontanément en l'absence de flamme pilote. On peut aussi dire (*point d'allumage spontané*).

D'autres caractéristiques physiques simples importantes relativement à la fonctionnalité sont **la forme et la surface des grains d'amidon**, facteurs critiques lorsque celui-ci sert à véhiculer colorants, saveurs et assaisonnements. Ces qualités sont des fonctions du ratio amylose/amylopectine de l'amidon. Les deux polymères ont des structures très différentes - l'amylose étant linéaire et l'amylopectine très ramifiée - et chacun joue un rôle déterminant dans la fonctionnalité finale de l'amidon naturel et de ses dérivés: viscosité, résistance au cisaillement, gélatinisation, texture, solubilité, pouvoir adhésif, stabilité du gel, gonflement au froid et rétrogradation, tout dépend du ratio amylose/amylopectine.

3.1.4.2_ Propriétés chimiques

En suspension dans l'eau, on obtient du lait d'amidon, suspension instable mais qui, chauffée à 70 °C, devient visqueuse et translucide.

Au contact d'une solution iodo-iodurée, l'amidon prend une teinte violette (réaction entre l'amylose et l'iode).

L'amidon ne peut pas oxyder la liqueur de Fehling, car sa fonction alcool (-OH) réductrice est « perdue » dans la taille de la molécule.

L'amidon est obtenue des produits agricoles par des processus divers. Les opérations de transformation des féculents pour la production d'amidon passe des voie sèche et voie humide (hydrolyse).

L'amidon est influencé par trois types d'action : thermique, chimique, enzymatique.

Action thermique : elle change la couleur et le goût de l'amidon par dextrinisation.

Action chimique et enzymatique: les acides entraînent une hydrolyse partielle de l'amidon qui conduit à la formation de dextrines. Le gel formé est moins épais. Cette hydrolyse est accélérée par une augmentation de température. L'amidon peut subir aussi l'action d'enzymes comme des enzymes végétales, ou animales (amylase) ou microbiennes.

3.1.5_ Extraction de l'amidon

En fonction de leur origine, les procédés d'extraction de l'amidon sont sensiblement différents.

En générales les étapes d'extraction de l'amidon sont: l'épluchage, le lavage, le râpage, le trempage et le tamisage, la décantation, le séchage au soleil, le tamisage ou blutage et le conditionnement.

- **L'épluchage :**

Eplucher les pommes de terre revient à éliminer la peau extérieure.

- **Le lavage :**

Le lavage des tubercules pelés dans une bassine d'eau potable a pour but de rendre la suite de l'opération propre. En effet, si les tubercules pelés ne sont pas lavés, la suite des opérations se déroulera dans la saleté; ce qui entraînera l'obtention d'un produit de mauvaise qualité.

- **Le râpage :**

Les tubercules de pommes de terre pelés et lavés, sont ensuite râpés au moyen d'un appareil appelé grattoir.

- **Trempage et tamisage :**

Après ajout d'eau, la chair est bien lavée. L'eau de lavage est recueillie et laissée reposer après ajout de jus de citron afin de blanchir la préparation.

L'objet de cette opération, est de séparer les morceaux de pomme de terre non râpé et les grosses parties fibreuses qui forment la structure, des autres constituants de la pulpe. Les fractions sont donc séparées suivant leur taille par lavage à l'eau de la pulpe à l'aide du tamis ou d'une série de tamis. (Les grosses fractions restent dans le tamis tandis que les petites fractions passent de l'autre côté). Le tamisage est

habituellement réalisé en deux étapes: un tamisage grossier (avec un tamis à grosses mailles) pour éliminer la plus grosse partie de la pulpe, et un tamisage fin pour séparer la pulpe fine de l'amidon.

- **La décantation ou sédimentation :**

Une fois qu'on a séparé les grosses particules des fines particules, ces fines particules sont à nouveau versées dans une grande bassine remplie d'eau. La grande bassine renfermant les fines particules et de l'eau est laissée au repos pendant quelques temps (ce temps varie en fonction de la quantité de produit contenu dans la bassine, de la taille de la bassine et de la quantité d'eau). Quoiqu'il en soit, l'objectif visé est de laisser au repos jusqu'à ce que l'eau de surface devienne claire, et que vous soyez capables de séparer cette eau du lait déposé au fond de la bassine. Retirer délicatement l'eau remontée en surface. Le lait resté au fond de la bassine contient encore un peu d'eau. Essorer alors ce lait pour en extraire de l'eau.

- **Séchage au soleil :**

La pâte obtenue après essorage est séchée au soleil, à l'abri des oiseaux et poules, à l'abri de la poussière.

Attention: il est recommandé de sécher très rapidement l'amidon encore humide pour diminuer les risques de fermentation. Plus le taux d'humidité du produit est faible, plus longtemps sera la durée de conservation de l'amidon.

- **Tamisage ou blutage :**

Une fois séché, l'amidon brut obtenu contient des mottes granuleuses constituées d'amidon et parfois d'impuretés. Pour obtenir un produit fin et de bonne qualité, on doit procéder au tamisage du produit séché avec un tamis à mailles fines. Le produit ainsi obtenu est donc de l'amidon prêt pour l'utilisation.

- **Conditionnement :**

L'amidon prêt pour l'utilisation ou pour la commercialisation est conditionné dans des petits sachets plastiques, dans des bouteilles plastiques ou alors dans des grands sacs plastique.

3.1.6 Amidon de pomme de terre [26w, 27w, 28w]

3.1.6.1 Composition de la pomme de terre

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* de la famille des Solanacées) est cultivée pour son tubercule souterrain riche en amidon.

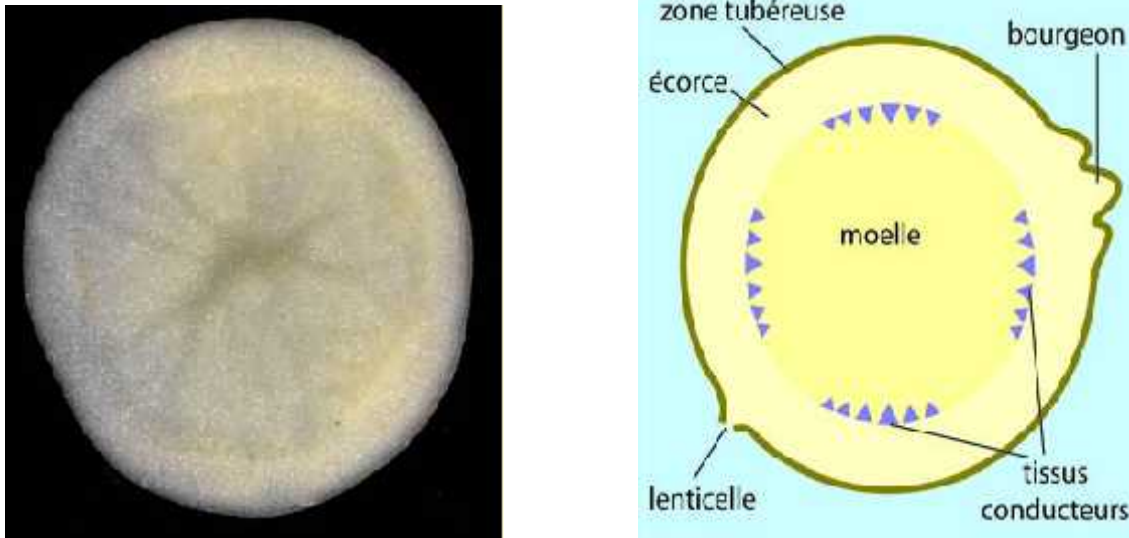


Figure 31 : Coupe transversal du tubercule de pomme de terre

La valeur nutritionnelle de la pomme de terre est liée à sa composition, principalement à sa teneur en matière sèche, qui se compose essentiellement de glucides, mais qui apporte aussi des protides, des vitamines, de sels minéraux, des fibres alimentaires et seulement des traces de lipides.

La pomme de terre est un aliment relativement riche en amidon (75 à 80 % de la matière sèche) et parfois considéré comme un féculent, mais qui se rapproche des légumes par sa teneur élevée en eau (environ 80 %), contre seulement 12 % pour les céréales et légumes secs

Le tubercule de pomme de terre contient environ les trois quarts de son poids en eau, une quantité relativement élevée de glucides (sucres), un faible taux de substances azotées et très peu de lipides. Sa composition moyenne est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Composition chimique de la pomme de terre, pour 100 g de matière fraîche.

http://www.reca-niger.org/IMG/pdf/Guide_pratique_de_la_culture_de_la_pomme_de_terre_en_Afrique_de_l_Ouest.pdf (12-11-2014)

Constituants	Teneur moyenne	Ecart observés
Eau	77,5 g	63 à 86 g
Matière sèche :	22,5 g	13 à 36 g
Glucides	19,4 g	13 à 30 g
Protides	2 g	0,7 à 4,6 g
Lipides	0,1 g	0,02 à 0,96 g
Minéraux	1 g	0,4 à 1,9 g

3.1.6.2_ Amidon de pomme de terre

La **fécule de pomme de terre** est l'amidon (appelé dans ce cas « fécule »), extrait des tubercules de pomme de terre.

L'extraction de la fécule donne lieu à une importante activité industrielle, la « féculerie ». Les pommes de terre sont écrasées, ce qui libère les grains d'amidons (amyloplast). L'amidon est ensuite lavé et desséché sous forme d'une poudre blanche.

La fécule de pomme de terre a de multiples applications dans l'industrie, en particulier pour le couchage du papier, elle sert également dans les domaines de la cosmétique, de l'industrie pharmaceutique, ainsi que comme additif alimentaire

La fécule de pomme de terre ne contient pas de gluten

L'amidon est constitué de 75 % d'amylopectine et de 25 % d'amylose .

3.2_ LA CASEINE

3.2.1_ Introduction

La caséine représente la **protéine la plus abondante** dans le lait de vache puisqu'elle représente environ 80 % des protéines totales. Cette protéine du lait est obtenue par coagulation du lait sous l'action d'une présure ou d'un acide. Elle n'est pas du tout soluble dans l'eau. Dans le lait, les caséines constituent des micelles ou agrégats de plusieurs centaines ou milliers de molécules de caséine.

La principale utilisation industrielle de la caséine fut longtemps pour des applications pour l'industrie du bois, de la peinture ou encore du cuir. Depuis les années 60, l'industrie agro-alimentaire utilise de plus en plus la caséine comme ingrédient nutritionnel.

3.2.2_ Le lait

3.2.2.1_ Aspect et définition [29w,22]

La dénomination "lait" sans indication de l'espèce animale de provenance, est réservée au lait de vache. Le lait est un liquide sécrété par les glandes mammaires des femelles après la naissance du jeune.

Il s'agit d'un liquide de couleur blanche, avec des nuances variant du bleuté au jaunâtre selon la teneur en b-carotènes de la matière grasse. Il a une odeur peu marquée mais reconnaissable, d'une saveur douceâtre et légèrement visqueux.

Le pH du lait bien conservé est légèrement acide ($6,6 < \text{pH} < 6,8$), proche de la neutralité, il y a plus de groupes carboxyle que de groupes amine.

Le lait est, parmi les liquides biologiques animaux, un de ceux qui contiennent la plus grande concentration d'acide citrique, c'est un anticoagulant.

3.2.2.2_ Composition du lait [30w, 31w]

Le lait est composé de nombreux nutriments, glucides (le lactose, qui est un sucre que certains ne digèrent pas), des graisses, vitamines, beaucoup d'eau et des protéines.

- **La matière grasse** : elle varie en fonction des conditions d'élevage. C'est le constituant le plus variable du lait, constituée d'un mélange de lipides simples (98,5 %) qui se trouvent en suspension dans le lait sous forme de minuscules gouttelettes (globules gras) et forment une émulsion. La concentration en lipides varie de 10 à 500 g/l suivant les espèces. Dans un lait au repos, cette matière grasse s'agglutine à la surface, formant la crème. Dans la famille des

lipides simples, on trouve dans le lait environ 95-96 % de triglycérides, 2-3 % de diglycérides et 0,1 % de mono glycérides;

- **Les protéines.** On distingue deux groupes :
 - La whey protéine, qui est une protéine rapide, représente environ 20% des protéines du lait.
 - La caséine (souvent appelée caséinate de calcium) est la protéine majoritaire, car elle constitue 80% des protéines contenues dans le lait.
- **Le lactose :** c'est un sucre disaccharide présent en solution dans le lait, et généralement le principal élément solide du lait. Son pouvoir sucrant est six fois plus faible que celui du saccharose. Il peut provoquer certaines intolérances ;
- **Les composants secondaires** du lait sont constitués par les sels minéraux, les enzymes, les vitamines et les oligo-éléments. Sa richesse en calcium et en phosphore fait du lait un aliment très adapté à la croissance des jeunes enfants. Le phosphore y est fixé sous forme de phosphates. Le calcium s'associe au phosphate et à la caséine pour donner le complexe phosphocaséinate de calcium et forme un colloïde. On y trouve également du magnésium, du potassium et du sodium mais il est, du moins pour le lait de vache, pauvre en oligoéléments ;
- **Les vitamines** apportées sont surtout les vitamines B₂, B₁₂ (hydrosolubles) ainsi que les vitamines A, D et E (liposolubles). La vitamine C, présente à hauteur de 8 mg/l dans le lait frais, est très vite dégradée et voit sa teneur baisser de plus de 50 % après 36 heures de réfrigération.

Les compositions du lait varient sensiblement selon les espèces animales, et même selon les races.

Tableau 4 : composition du lait chez divers mammifères

source:(<http://fr.wikipedia.org/wiki/Lait>) (18-11-2014)

	Composition moyenne du lait en grammes par litre							
	Eau	Extrait sec dont :	Matière grasse	Protéines			Glucide : lactose	Matières minérales
				Totales	caséine	albumine		
Femme	905	117	35	12-14	10-12	4-6	65-70	3
Jument	925	100	10-15	20-22	40-44	9-13	40-45	6-9
Ânesse	925	100	10-15	20-22	40-44	9-13	40-45	6-9
Vache	902	130	35-42	30-35	27-30	3-4	45-50	8-10
Chèvre	900	120	40-45	35-40	30-35	6-8	40-45	5-8
Chienne	800	250	90-100	100-110	45-50	50-55	30-50	12-14
Chatte	850	200	40-50	90-100	30-35	60-70	40-50	10-13
Lapine	720	300	120-130	130-140	90-100	30-40	15-20	15-20

D'une manière générale, le lait des mammifères contient en moyenne 87% d'eau et 13% de matière sèche. Les protéines les plus abondantes dans le lait sont les caséines.

Le lait est, parmi les liquides biologiques animaux, un de ceux qui contiennent la plus grande concentration d'acide citrique, c'est un anticoagulant.

3.2.2.3_ Composition moyenne du lait de vache [23]

La composition moyenne du lait de vache est représentée par la figure suivante, Elle fait apparaître les grandes catégories de constituants du lait : eau, lactose, matière grasse, protéines et les constituants salins mais ne nous révèle pas la multitude de ses substances et la complexité de sa composition.



Figure 32: Composition de lait de vache

3.2.2.4_ Caractéristiques physico-chimiques du lait [23, 32w, 33w]

La connaissance des propriétés physicochimiques du lait revêt une importance incontestable car elle permet de mieux évaluer la qualité de la matière première et de prévoir les traitements et opérations technologiques adaptés.

- **Acidité du lait**

Le pH du lait est acide, le pH varie de 6,4 et 6,6 (lait de vache). Il est légèrement basique pour le lait humain avec un pH compris entre 7 et 7,5. L'acidité du lait augmente avec le temps. En effet, le lactose va être dégradé en acide lactique.

Tous les constituants capables de se combiner à des ions basiques contribuent à l'acidité du lait. C'est l'équilibre entre les constituants basiques (sodium, potassium, magnésium, calcium et hydrogène) et les constituants acides (phosphates, citrates, chlorures, carbonates, hydroxyles et protéines) du lait qui en détermine l'acidité.

- **Point de congélation**

Point de congélation du lait : est la température de passage de l'état liquide à l'état solide. C'est l'une des constantes les plus stables du lait. Cette valeur est mesurée en degrés Celsius (°C) avec un appareil automatique.

Cette analyse sert à vérifier qu'il n'y a pas eu un ajout d'eau. Le lait normal a un point de congélation de -0,520°C. Plus on ajoute de l'eau au lait plus celui-ci se rapproche de 0°C (exemple -0,500°C).

- **Point d'ébullition**

À pression atmosphérique normale, le point d'ébullition de l'eau est de 100°C et celui du lait est de 100,5°C. Comme pour le point de congélation, il est fonction du nombre de particules en solution et par conséquent, il augmente avec la concentration de lait et diminue avec la pression. Ce phénomène est appliqué dans les procédés de concentration du lait.

- **Densité du lait**

Le poids d'une substance par unité de volume est la masse volumique ; tandis que la densité est le rapport de la masse volumique avec celle de l'eau. Étant donné que la masse volumique de toute substance varie avec la température, il importe de spécifier cette dernière en rapportant les résultats.

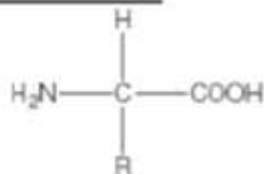
La densité du lait à 15°C est en moyenne 1,032 (1,028- 1,035). Elle est la résultante de la densité de chacun des constituants du lait.

3.2.3_ **La caséine du lait**

3.2.3.1_ **Définition** (33w)

La caséine est la protéine la plus abondante du lait (environ 80 %, soit environ 30g.L⁻¹). Elle est constituée de 209 acides aminés.

- **Structure d'un acide aminé :**



R : groupe latéral de l'acide aminé

- **Structure d'une protéine :**

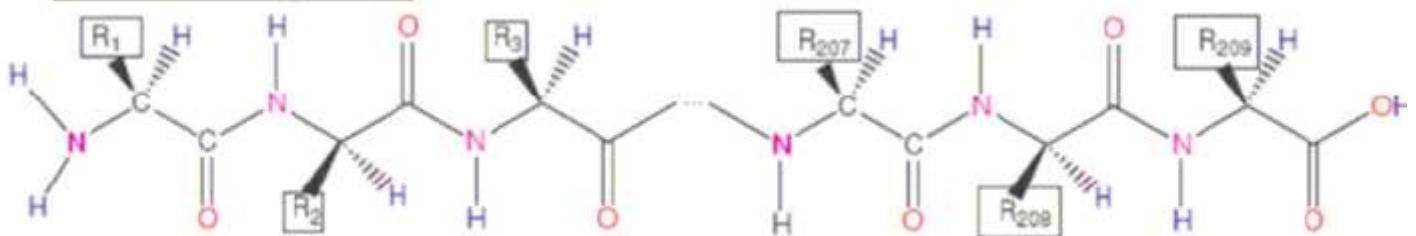


Figure 33 : Structure d'un acide aminé et d'une protéine

3.2.3.2_ Généralités sur les caséines [1]

Ce sont des macromolécules composées d'une longue chaîne carbonée et azotée dite lipophile, car peu soluble dans l'eau et possédant une affinité pour les graisses, et d'un bout de chaîne dit hydrophile, car soluble dans l'eau. On dit que la caséine est amphiphile ou encore que c'est un tensioactif.

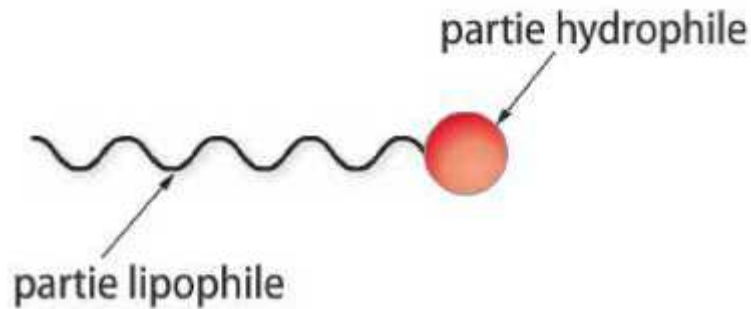


Figure 34 : caséine amphiphile

La charge électrique de la caséine varie avec le pH. Ainsi pour un pH supérieur à 4,6, la caséine est globalement chargée négativement.

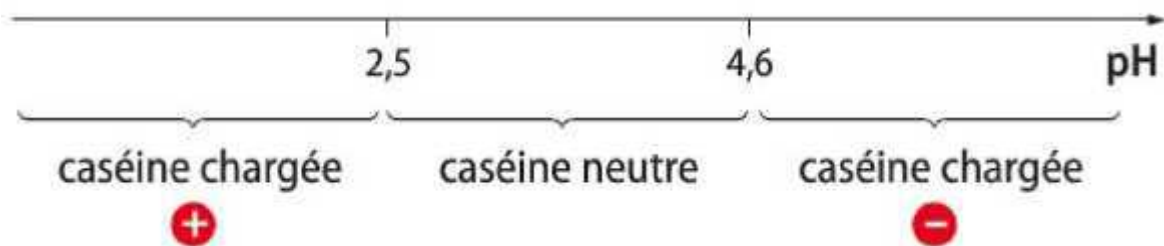


Figure 35 : Variation de la charge électrique en fonction du pH

Dans le lait bien conservé, les matières grasses (lipides insolubles dans l'eau) s'entourent de molécules de caséine, dont la partie lipophile baigne dans la matière grasse et la partie hydrophile baigne dans l'eau. Il se forme ainsi des micelles, constituées de gouttelettes de matière grasse entourées de molécules de caséine.

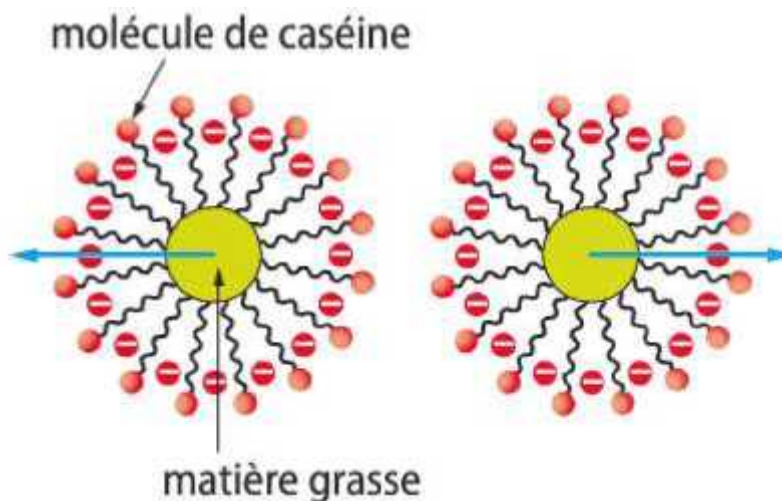


Figure 36 : Micelles de caséine

Le lait est une émulsion. La couche externe des micelles étant négative, ces dernières se repoussent entre elles, ce qui empêche la précipitation des matières grasses.

Les matières grasses qui se trouvent sous forme de globules émulsionnés, stabilisés par la caséine, se séparent par barattage ou centrifugation : c'est le beurre

En faisant varier le pH du lait, on diminue la répulsion électrostatique entre micelles, et on peut ainsi provoquer leur précipitation sous forme d'un coagulum de matière grasse et de caséine : **le caillé**.

Pour obtenir un **caillé** de bonne consistance, il est nécessaire de chauffer le lait modérément (40 à 50°C) et de faire varier lentement le pH.

Le caillé est constitué des matières grasses et des caséines. Pour débarrasser des matières grasses qu'il contient, on procède à un lavage à l'acétone et à l'éther. On obtient après filtration de la caséine brute.

La caséine est donc obtenue par coagulation du lait écrémé. Le floculat séché est une poudre plus ou moins cornée.

3.2.3.3_ Propriétés de la caséine

La caséine durcie a une densité de 1,35 environ. Elle est inodore. Sur le plan chimique, elle résiste aux acides et à bases étendues. Elle est insoluble dans l'eau mais gonfle fortement.

De plus, elle est Insoluble en solution aqueuse acide et dans l'acétone. Elle est soluble dans les solutions alcalines (ammoniaque, soude caustique, carbonate de soude). Elle est ininflammable. La matière se travaille comme la corne. Elle est justiciable des techniques utilisées pour le bois: sciage, tournage, fraisage, perçage, collage. Les feuilles sont estampables à chaud (La caséine durcie se ramollit légèrement à 100°C).

La caséine possède effectivement un pouvoir liant extrêmement élevé, qualité reconnue depuis la haute antiquité qui explique son emploi comme colle.

3.3 LA GELATINE

3.3.1 Introduction

La gélatine une protéine animale, elle est une substance solide translucide, transparente ou légèrement jaune, presque sans goût et sans odeur, obtenue par l'ébullition prolongée de tissus conjonctifs (peaux) ou d'os d'animaux (principalement porc, bœuf, poisson).

La gélatine est une substance fascinante, entièrement naturelle et dotée de propriétés d'épaississant, gélifiant, moussant, viscosifiant, liant, émulsifiant, filmant et bien d'autres encore.

La gélatine est une substance protéique dérivée de collagène, une protéine naturelle présente dans les tendons, les ligaments et les tissus de mammifères. Il est produit en faisant bouillir les tissus conjonctifs, des os et des peaux d'animaux, généralement des vaches et les porcs. La capacité de la gélatine pour former, gels transparents solides et des films flexibles qui sont facilement digérés, solubles dans l'eau chaude, et capables de former une action liaison positive en ont fait une denrée précieuse dans la transformation des aliments, les produits pharmaceutiques, la photographie, la production de papier et la fabrication des colles à bois.

3.3.2 Provenance et composants [36w, 37w]

Les gélatines porcines et bovines sont obtenues à partir de déchets ou sous-produits de l'industrie de la viande et du cuir revendus aux fabricants de gélatine une fois la partie voulue de l'animal utilisée. Les trois matières premières sont la peau de porc, la peau de bœuf et les os (toujours munis de ligaments, cartilages, tendons...). Les peaux et os de porcins viennent des abattoirs, des usines de salaisons et des

centres de découpages. Quant aux sous-produits bovins, ils proviennent également des abattoirs mais aussi des tanneries particulièrement. On utilise principalement la peau de porc, puis secondement la peau de bovin et enfin les os car ces éléments sont des sources privilégiées de collagène. C'est la protéine nécessaire à la création de gélatine.

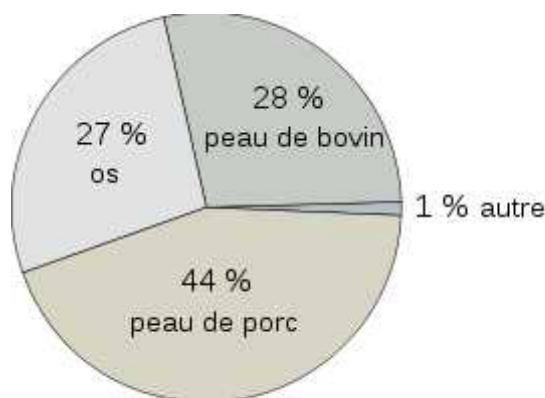


Figure 37 : Origine de la Gélatine

La gélatine est une protéine pure extraite de matières premières animales contenant du collagène. Elle contient de 84 à 90 % de protéines et de 1 à 2 % de sels minéraux, le reste étant de l'eau. La gélatine ne contient ni agents de conservation, ni additif. Elle est exempte de cholestérol et de purine (purine = composés d'acide urique).

3.3.3 Structure de la gélatine [35w]

La gélatine est obtenue par hydrolyse du collagène. Elle est « une petite protéine » ou un polypeptide qui, à l'instar du collagène dont elle est issue, a des propriétés structurantes.

La gélatine contient un total de 18 acides aminés en différentes concentrations. La liaison de ces acides forme des chaînes polypeptidiques, chaque chaîne contenant environ mille acides aminés. La structure globale de la gélatine est une molécule en forme de baguette (protofibrille) composée des structures hélicoïdales primaire, secondaire et tertiaires.

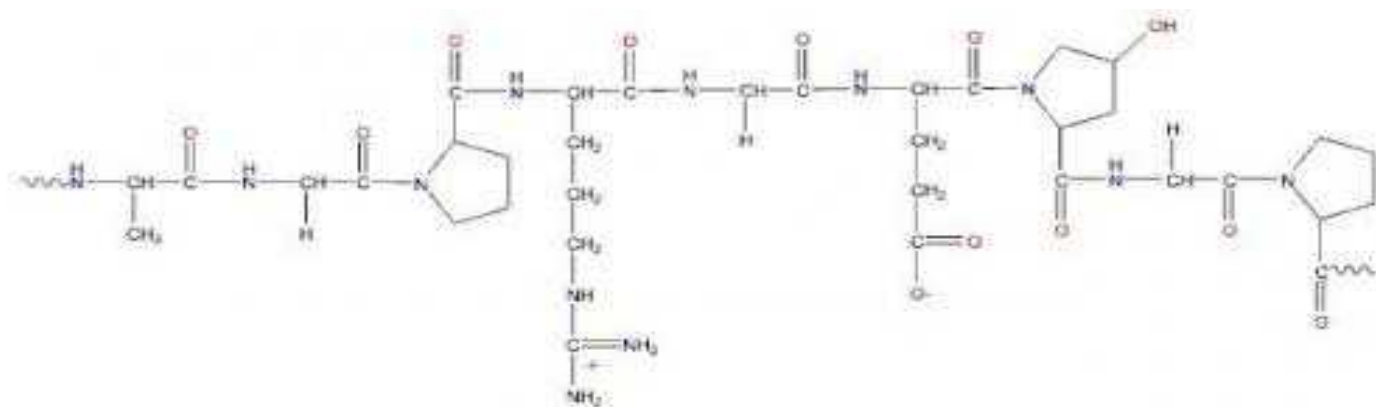


Figure 38 : Représentation de la molécule de gélatine selon la convention de Lewis

3.3.4_ Propriétés de la gélatine [36w]

La gélatine est dotée de multiples propriétés :

- **Solubilité :**

La gélatine gonfle dans l'eau froide et est entièrement soluble dans l'eau chaude, glycérol et l'acide acétique. Elle est insoluble dans les solvants organiques, alcool, chloroforme, éther

Une température aux environs de 60°C est nécessaire pour libérer la structure ordonnée de la gélatine à l'état sec.

- **La gélatine, un gel physique:**

La gélatine est un gel physique ou encore thermoréversible. Cette propriété est très intéressante, en effet, lorsque l'on refroidit une solution de gélatine sa prise augmente et inversement, si l'on chauffe une même solution, celle-ci voit sa prise diminuer progressivement jusqu'à devenir de nouveau liquide.

- **La gélatine, un gel très peu sensible au pH :**

La protéine de gélatine est un peu sensible au pH avant gélification mais ne l'est plus du tout après.

- **Pouvoir filmogène :**

Lorsqu'une solution de gélatine est étalée en fine couche sur une surface et passe de l'état sol à l'état gel, elle forme un film. Cette propriété est mise à profit dans la fabrication de capsules dures et molles et en micro en capsulassions.

- **Pouvoir épaississant :**

L'adjonction de gélatine à une solution permet d'en augmenter la viscosité.

- **Pouvoir gélifiant :**

Le pouvoir gélifiant rend possible le passage d'un produit d'une structure liquide à une structure « gel ». L'état « gel » s'apparente visuellement à l'état solide mais s'en distingue par son instabilité.

Le gel obtenu avec la gélatine est thermoréversible. Ceci constitue sans aucun doute la propriété la plus intéressante. Quand on refroidit une solution de gélatine, la viscosité augmente progressivement et l'on passe de la forme « sol » à la forme « gel ». Inversement, si l'on réchauffe ce gel, il se dissout et retourne à l'état de solution. Contrairement à la plupart des hydrocolloïdes d'origine polysaccharidique, la gélatine se gélifie indépendamment du pH et sans nécessiter la présence d'autres réactifs.

La conversion sol/gel est réversible et peut être répétée. Toutefois, la succession de réchauffements et de refroidissements dégrade quelque peu la gélatine.

- **Pouvoir émulsifiant :**

Le pouvoir émulsifiant de la gélatine permet d'obtenir, par brassage, une dispersion homogène dans un mélange de constituants naturellement non miscibles comme, par exemple, un mélange eau-huile

- **Pouvoir foisonnant**

Le pouvoir foisonnant de la gélatine permet d'augmenter, dans de fortes proportions, le volume d'un mélange d'ingrédients, à condition qu'il comporte de l'eau. La phase gazeuse ou les bulles d'air créées par battage du mélange sont capturées dans des microbilles de gélatine et maintenues dans un état de dispersion stable.

- **Pouvoir stabilisant :**

La prise en gel permet la stabilisation et la protection des solutions colloïdales et des émulsions. Le pouvoir stabilisant de la gélatine est souvent supérieur à celui des autres polymères naturels.

3.3.5_ Extraction de la gélatine [31w]

La transformation du collagène en gélatine se réalise en deux étapes : la solubilisation du collagène (soit en milieu acide, soit en milieu basique) et sa conversion en gélatine.

La fabrication industrielle de la gélatine consiste principalement à contrôler l'hydrolyse du collagène et à convertir le produit en un matériel soluble avec des

propriétés physico-chimiques souhaitées, telles que la force en gel, la viscosité, le point isoélectrique ...

Il existe essentiellement deux procédés pour la fabrication de la gélatine: le traitement à l'acide, à l'alcali .

3.3.5.1_ Le collagène

Le collagène est une macromolécule fibreuse, de type glycoprotéine, insoluble, du tissu conjonctif .C'est la protéine la plus abondante du règne animal. Le collagène est constitué de trois chaînes alpha polypeptidiques de 1050 acides aminés. La forme terminale est une triple hélice, longue de 300 nm et d'1,6 nm de diamètre environ, appelée tropocollagène.

La structure du tropocollagène est stabilisée par des ponts hydrogènes entre les chaînes de l'hélice. Parmi les différents types de collagène (I à XXVIII), celui de type I est le plus abondant. Il représente 90% du collagène de l'organisme, et constitue un réseau qui sert à la structure d'un grand nombre de tissus : cartilages, os, tendons, peau...

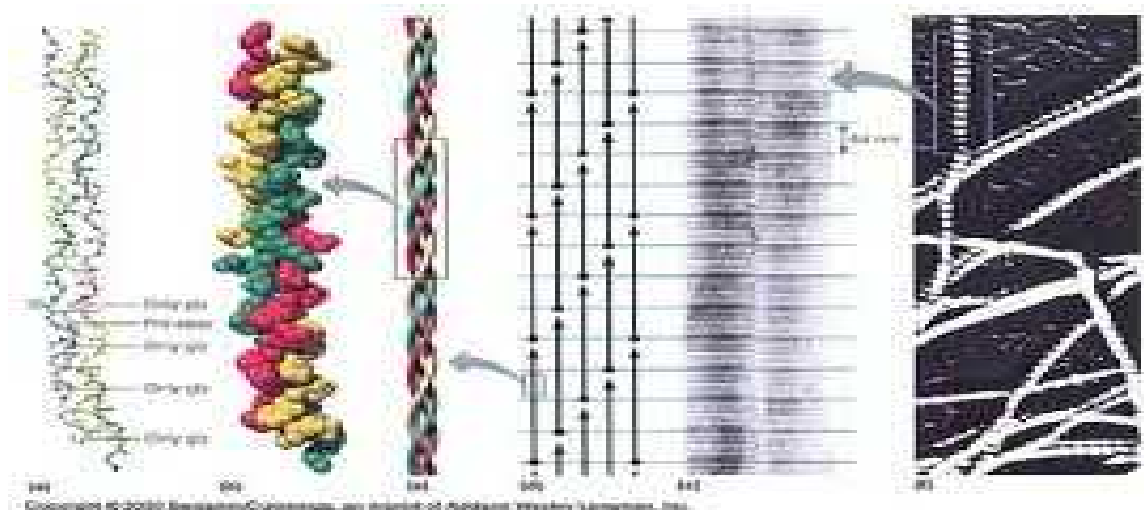


Figure 39 : Tropocollagène

Lors de l'extraction de la gélatine à partir du collagène, les liaisons hydrogène sont brisées par élévation de température et la structure en hélice disparaît. Les chaînes adoptent la conformation pelote, le collagène est devenu gélatine.

3.3.5.2_ Le processus de fabrication de la gélatine (32w, 33w, 34w)

Le processus de fabrication de la gélatine peut être schématisé de la façon suivante :

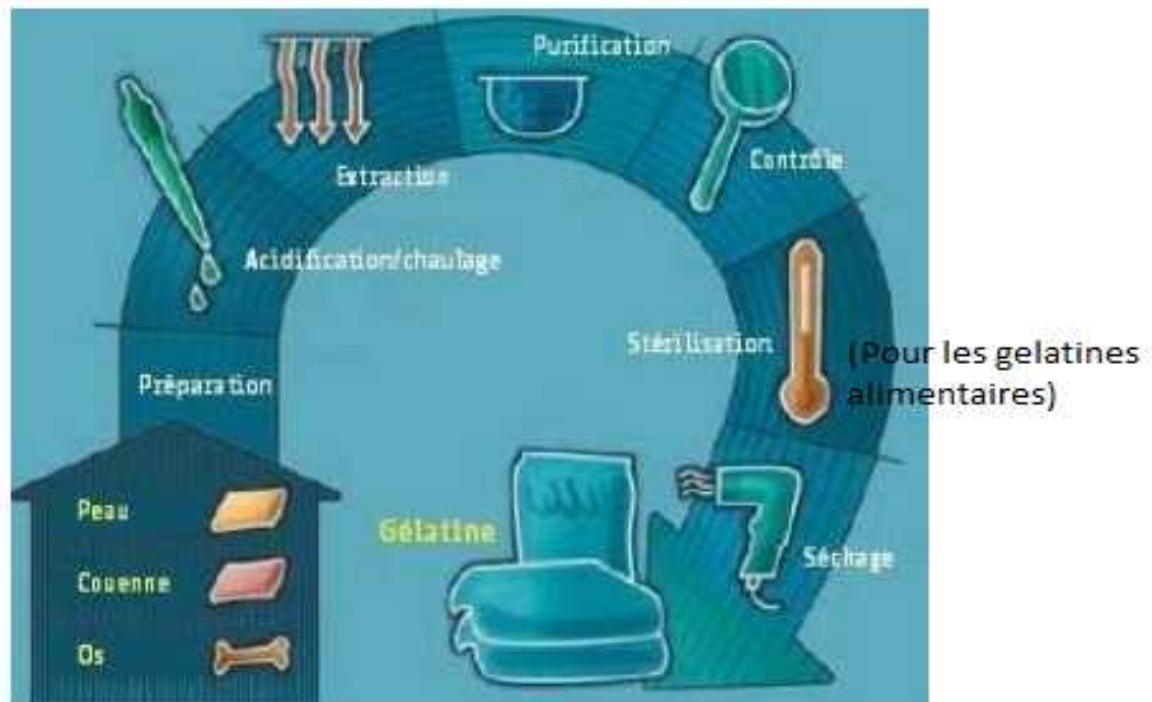


Figure 40 : Processus de fabrication de la gélatine.

➤ **Les matières premières et produits utilisés**

Les os d'animaux, les peaux et tissus sont obtenus à partir des abattoirs.

Les acides et alcalins tels que la chaux caustique ou du carbonate de sodium sont utilisés pour extraire des minéraux et des bactéries à partir des morceaux d'animaux.

➤ **Protocole d'extraction**

Lorsque les parties d'animaux arrivent à l'usine, ils sont inspectés pour la qualité, les pièces pourries sont jetés et ensuite, coupés en petits morceaux.

• **Dégraissage et torréfaction**

Les parties d'animaux sont passés sous les jets d'eau à haute pression pour laver les débris. Elles sont dégraissées puis en les trempant dans l'eau chaude pour réduire la teneur en matière grasse à environ 2%.

On fait sécher les os et peaux dégraissées à un séchoir où ils sont torréfiés pendant environ 30 minutes à environ 100 ° C.

• **Traitement acide ou alcaline**

Les parties d'animaux sont trempées dans des cuves de chaux ou un autre type d'acide pendant environ cinq jours. Ce processus supprime la plupart des minéraux et les bactéries et facilite la libération de collagène. Le lavage à l'acide est généralement un acide chlorhydrique à 4% avec un pH inférieur à 1,5. Le lavage alcalin est un carbonate de potassium ou de sodium avec un pH supérieur à 7.

- ***Ébullition***

L'os, les tissus et la peau sont chargés dans les grands extracteurs d'aluminium et bouillies dans de l'eau distillée.

- ***Filtration***

On filtre le liquide pour séparer les morceaux d'os, des tissus ou de la peau qui sont encore attachés

- ***Séchage***

On coule le liquide sur des planches en bois ou dans des moules, après refroidissement on découpe les carrés obtenus, que l'on tient à l'abri de l'humidité.

DEUXIEME PARTIE

EXPERIMENTATION

CHAPITRE 4 : FABRICATION D'UNE COLLE A BASE D'AMIDON

Introduction

Les colles d'amidon sont encore appelées colles de pâte. Elles sont fabriquées en partant non seulement des farines (blé, seigle, maïs, fèves, vesce) mais aussi des féculas (manioc, pommes de terre).

Elle est formée à partir de l'amidon, principale réserve en glucides du monde végétal. Ses qualités (excellente conservation de la colle une fois sèche, parfaite réversibilité à l'eau, très bon pouvoir collant) ont pu être vérifiées au cours du temps.

Après avoir extraite de l'amidon, notre travail consiste à fabriquer cette colle.

4.1_ EXTRACTION DE L'AMIDON DE POMME DE TERRE



Photo 3 : Amidon de pomme de terre

4.1.1_ les matériels utilisés

Plusieurs procédés permettent l'extraction de l'amidon et tous partent d'un même principe, celui de pouvoir recueillir les particules en suspension dans le jus soumis à un mouvement de rotation. On distingue ainsi :

- La méthode traditionnelle (décantation, séchage et conditionnement, broyage) ;
- La méthode par décantation par les canaux ;
- La méthode industrielle.

Pour notre cas, on a choisi la méthode traditionnelle pour extraire notre amidon.

Les matériels utilisés pour cette méthode sont :

- Un couteau ;

- Une râpe percée de trous de diamètre très fine ;
- Une cuvette ;
- Un tamis fin non métallique ;
- Une balance électronique ;
- Une plaque chauffante ;
- Une cuillère en plastique ou métallique.

4.1.2_ Choix de la matière première utilisée : pomme de terre

Sur les plantes, l'amidon peut se concentrer à différents endroits :

- Dans les racines, les bulbes ou les tubercules : comme dans le cas de la pomme de terre et le manioc ;
- Dans les graines : comme dans le cas du maïs, du blé, du riz, etc ;
- Dans la moelle de la tige : pour certaines plantes chez le sagoutier et le zamier (plantes rencontrées à l'étrangers).

Pour effectuer l'extraction d'amidon, on a choisi la pomme de terre comme matière première car la pomme de terre contient beaucoup plus d'**amidon** (un glucide) que la plupart des légumes, il constitue typiquement 75% de son poids sec.

De plus, au point de vue économique et pendant la période d'expérimentation, le cout de pomme de terre était moins chère.

4.1.3_ Méthode d'extraction d'amidon

Il existe deux principaux types de procédés pour extraire l'amidon :

- Procédé humide (en solution)
- Procédé à sec

De ces deux procédés, le procédé humide est le plus employé est beaucoup plus efficace que le procédé à sec. D'ailleurs, seul ce procédé assure une qualité qui peut satisfaire toutes les exigences commerciales. Pour ces raisons, une attention particulière sera donnée à ce procédé et seule une brève description du procédé à sec sera donnée à titre informatif.

Le procédé à sec: Le procédé à sec consiste en l'utilisation de tamis et de systèmes de classification à l'air pour séparer les différents constituants broyés. Le désavantage majeur de cette méthode est la forte demande d'énergie nécessaire

pour effectuer la séparation, ce qui rend le procédé beaucoup plus dispendieux. De plus, il est difficile de se débarrasser des Impuretés inhérentes au produit.

4.1.3.1 Mode opératoire du procédé humide

On utilise 1Kg de pomme de terre.

On lave les pommes de terres pour enlever les poussières, les sables, les débris et autres matières diverses qui peuvent réduire l'efficacité du procédé. Après les avoir pelés et râpés dans une cuvette, on ajoute de l'eau pour laver les chaires puis on enlève ses dernières. On garde l'eau de nettoyage et on laisse reposer pendant 30 minutes.

On enlève l'eau et on répète l'opération jusqu'à l'obtention d'une poudre bien blanc.

On place la pulpe sur un tissu propre et on le sèche au soleil. ($T < 45^{\circ}\text{C}$)

Elle est disposée sur un tamis fin. La fécule passe à travers le tamis tandis que les débris végétaux sont retenus.

4.1.3.2 Observation et interprétation

- Lorsqu'on laisse reposer l'eau de lavage de la chaire de pomme de terre, des poudres se reposent au fond de la cuvette.
- Lorsqu'on répète l'opération, l'eau de lavage devient de plus en plus claire.
- Les poudres obtenues après tamisage est l'amidon natifs qu'on a extraite.

4.1.3.3 Résultats et analyse du produit obtenu

❖ Test d'amidon

L'eau iodée permet de mettre en évidence l'amidon.

En présence d'amidon l'eau iodée de coloration légèrement brunâtre prend une coloration bleue noire.

On verse de l'empois d'amidon dans un tube à essais.

On ajoute quelques gouttes d'une solution de lugol (solution de diiode du commerce). On remarque une coloration noire donc on peut conclure qu'on a obtenu de l'amidon.

❖ Résultat d'extraction



Photo 4 : amidon obtenu

Pour 1Kg de pomme de terre, on a obtenu 140g d'amidon natif.

Le pourcentage d'amidon dans les pommes de terre est en moyenne compris entre 16% à 20%.

Pour notre cas, nous n'avons obtenu que 14 %, du fait de perte d'amidon contenu dans les peaux enlevées lors de l'épluchage.

❖ **Analyse de l'amidon obtenu :**

➤ **Caractère organoleptique :**

La coloration de l'amidon, observée à l'œil nu, est blanche comme celle du papier vélin.

L'odeur de l'amidon est franche, agréable, analogue à celle de la noisette.

La saveur est agréable et caractéristique douçâtre avec arrière-goût amer.

Lorsqu'on serre dans la main une poignée d'amidon, on observe qu'il forme une espèce de pelote.

➤ **Taille et forme des grains d'amidon ou amyloplastés:**

L'amyloplaste est un des organites de la cellule végétale qui fait partie de la famille des plastes. C'est une des structures de stockage d'amidon.

L'amidon est le mélange de deux molécules, l'Amylose et l'Amylopectine, qui sont des polymères de glucose.

Les amyloplastés séchés et présentées en poudre forment la fécule de pomme de terre.

L'observation microscopique montre que la cellule de pomme de terre est caractérisée par la présence d'un très grand nombre d'amyloplastes de forme ovale. La taille est située entre 40µm et 60µm.

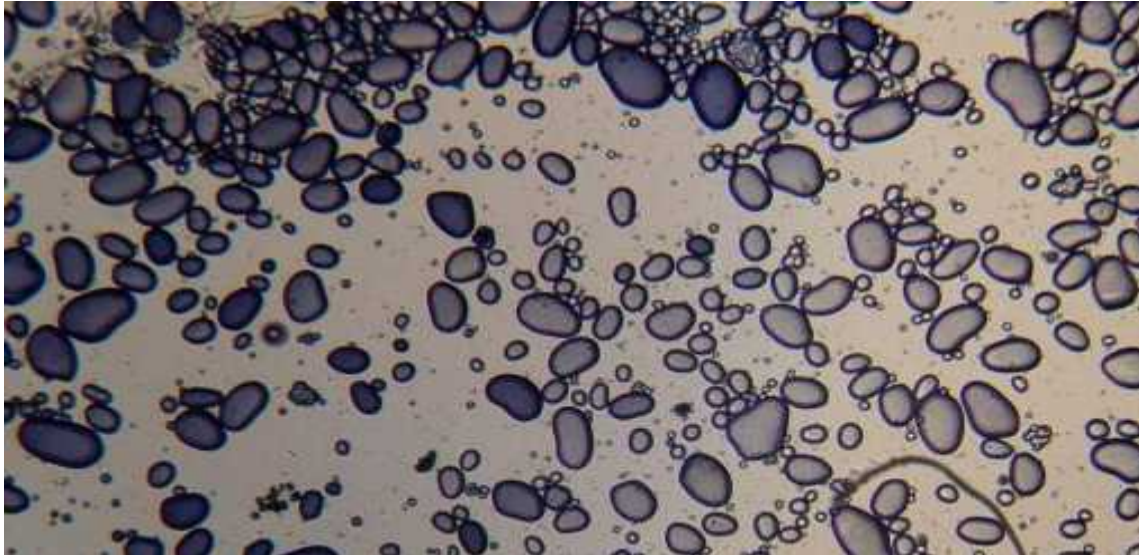


Photo 5: Observation microscopique des grains d'amidon.

Le hile est le point de départ de l'accumulation des molécules d'amylose et d'amylopectine. La production est stockée ensuite par strates (les stries de croissance) ; la production n'est donc pas homogène et se fait par cycles

- Dans le cas de la pomme de terre il n'y a qu'un hile.

(Le grain d'amidon est le nom donné à un amyloplaste achevé).

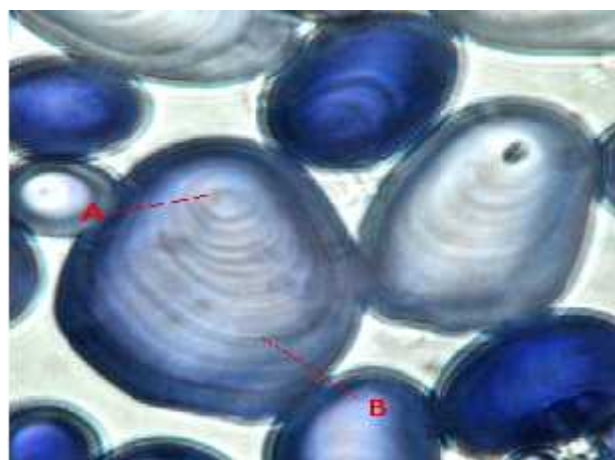


Photo 6 : hile (A) et les stries d'accroissement (B) d'amidon.

➤ **Taux d'humidité de l'amidon :**

La détermination de la teneur en eau de l'amidon conditionne la précision des divers résultats analytiques qui sont rapportés à l'amidon desséché. Le principe consiste à dessécher l'amidon à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

• **Mode opératoire**

- On pèse 5 g d'amidon dans un cristalliseur préalablement taré après dessiccation à l'étuve. On note M, la masse totale d'amidon et du cristalliseur.
- On introduit l'échantillon dans l'étuve pendant 5 h à 100 °C.
- Ensuite, on refroidit l'échantillon à la température ambiante avant d'être pesé. On note M_i , la masse du cristalliseur avec l'amidon sec.

• **Calcul**

Le pourcentage d'humidité est donné par la relation suivante :

$$H_i [\%] = \frac{(M - M_i) \times 100}{M} + 0,3$$

Avec **0,3** : terme correctif pour tenir compte de l'humidité de l'atmosphère.

On prépare deux échantillons de masse $M = 5\text{g}$, la valeur moyenne du pourcentage d'humidité est donc :

$$H [\%] = \frac{(H_1 + H_2)}{2}$$

Tableau 5 : Teneur en humidité d'amidon.

Echantillonnage	Masse du cristalliseur avec de l'amidon sec M_i (g)	Pourcentage d'humidité H [%]
Echantillon 1	4,392	12,19
Echantillon 2	4,396	12,11
Valeur moyenne d'humidité		12,15

- **Interprétation** : [35w]

- Dans la littérature, les teneurs en eau des amidons natifs de pomme de terre et de manioc se trouvent dans un intervalle acceptable (10 à 14%) pour une bonne conservation des produits secs.
- Une teneur >14, entraîne si la température est suffisante, des fermentations et le développement de moisissures qui communique à l'amidon une odeur désagréable.
- L'humidité de l'amidon dépend du séchage après son extraction, du mode de conditionnement et du stockage.

➤ **Teneur en Cendres**

Les cendres s'obtiennent par incinération de l'amidon dans les conditions données et pesée du résidu.

C'est la quantité des matières minérales que contient la fécule. Elle est exprimée en pourcentage.

- **Mode opératoire**

On pèse 5g d'amidon dans une capsule tarée.

On place l'amidon dans le four à température 900 °C à 950°C pendant 10 à 15 minutes (on laisse jusqu'à ce que l'amidon est réduit en cendres)

On laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse de nouveau.



L'amidon à analyser



L'amidon enflammé



les cendres d'amidon

Photo 7 : Incinération de l'amidon.

- **Calcul** :

Si P représente le poids en gramme du résidu, la teneur en cendres en grammes pour 100 g d'amidon est ce poids multiplié par 20 **C= 20 P**

Les cendres sont aussi exprimées en g % d'amidon sec :

$$C [\%] = \frac{2000 \times P}{(100 - H)}$$

P : (g) poids du résidu

H : humidité.

On utilise les deux échantillons secs précédant, et on a les résultats suivants :

Tableau 6 : Teneur en cendre de l'amidon

Echantillonnage	% d'humidité	Poids du résidu	Teneur en cendre [%]
Echantillon 1	12,19	0,013	0, 29
Echantillon 2	12,11	0,013	0,29

- **Interprétation** : [58]

Dans la littérature, la teneur moyenne en cendre de l'amidon est de 0,20 %

La teneur en cendres varie d'un amidon à l'autre et ceci indépendamment de l'origine botanique, la nature du sol et le climat des zones de culture des plantes.

Une teneur en cendre assez élevée est due à l'insuffisance de lavage de l'amidon durant le processus d'extraction d'amidon.

Le résultat d'analyse montre que l'amidon obtenu donne une quantité de cendre assez élevée.

- **Solubilité de l'amidon**

L'amidon est pratiquement insoluble dans l'eau froide. Une très faible quantité d'amidon peut être dissoute lorsqu'on délaie une poudre d'amidon dans un peu d'eau. La solubilité d'amidon représente, la quantité d'une partie soluble dans l'eau à température ambiante.

- **Mode opératoire**

On introduit dans un erlen 5g d'amidon et on ajoute 50ml d'eau distillée.

On agite le mélange par un agitateur magnétique pendant 30 minutes.

On centrifuge le mélange ensuite à 5000 rpm pendant 2 minutes.

On décante le filtrat dans un bécher et on transfère le sédiment dans un cristalliseur préalablement pesé.

On sèche le sédiment à l'étuve à 105°C puis on le laisse refroidir avant de peser.

- **Calcul :**

La solubilité est donnée par la formule suivante :

$$S_k[\%] = \frac{(m - m_i) \times 100}{m}$$

Avec

m: masse de l'amidon à solubiliser

m_i : masse de la partie insoluble

On prépare un échantillon de masse m=5g, la valeur de la solubilité est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Taux de solubilité de l'amidon

Masse de la partie insoluble m _i (g)	Solubilité [%]
4,512	9,76

- **Interprétation:**

Dans la littérature, la solubilité de l'amidon est de 9,54% en moyenne.

Notre amidon présente une solubilité légèrement supérieure à celle indiquée à la littérature.

La solubilité de l'amidon est inversement proportionnelle aux longueurs de chaînes macromoléculaires de l'amidon. C'est-à-dire plus la chaîne macromoléculaire est longue, plus les liaisons hydrogènes qui maintiennent les grains d'amidon seront fortes, ce qui rend l'amidon moins solubles dans l'eau froide.

➤ **Acidités de l'amidon (59)**

On a déterminée l'acidité de l'amidon par une méthode de dosage d'acidité exprimée en acide sulfurique.

On peut aussi le déterminer avec un pH- mètre pour avoir plus de précision.

- **Mode opératoire :**

Dans une éprouvette graduée de 100 ml, on introduit 10g de fécule et 50 ml d'alcool 90° neutralisé.

On agite de temps en temps puis on conserve l'éprouvette dans une position inclinée (30°C à 40°C) pendant 12 heures (l'éprouvette étant bouchée par du coton).

On soutire 20 ml de la solution alcoolique surnageante au moyen d'une pipette.

On titre cette solution alcoolique à l'aide de la soude 0,05 N. On note v le volume en ml de la soude versée au moment du virage.

On sait que :

1ml de soude normale neutralise 1 ml de solution normale d'acide, qui est équivalente à 0,049g H₂SO₄

Alors, v ml de soude 0,05 N neutralise v ml de solution 0,05 N d'acide, correspondante à (v x 0,049 x 0,05) g de H₂SO₄

On multiplie cette valeur par 2,5 pour rapporter à 50 ml de solution alcoolique :

(v x 0,049 x 0,05 x 2,5) g H₂SO₄

On multiplie encore par 10 le chiffre obtenu pour rapporter à 100 g de fécule,

L'acidité Ac [%] = v x 0,049 x 0,05 x 2,5 x 10

L'acidité exprime en acide sulfurique est donnée par la formule :

Ac[%] = 0,06125 x v

Avec v = volume en ml de soude versée

Nous avons fait deux essais de dosages :

Tableau 8 : Teneur en acidité de l'amidon

VOLUME de soude versée v (ml)	VOLUME MOYEN de soude versée v_i (ml) $V = \frac{(V_1 + V_2)}{2}$	POURCENTAGE d'acidité Ac[%]
V ₁ = 0,35	0,325	0,019
V ₂ = 0,30		

L'acidité de l'amidon obtenu est de 0,019%.


4.2 PREPARATION DE LA COLLE D'AMIDON

4.2.1 _ Les matériels utilisés

- Thermomètre ;
- Casserole pour le bain marie ;
- Spatule ;
- Bécher.

4.2.2 _ Produits utilisés : pictogramme, précautions à prendre et rôle

Tableau 9 : Produits utilisés pour la préparation de la colle d'amidon

<u>Produits</u>	<u>Pictogramme de dangers</u>	<u>Précautions à prendre</u>	<u>Rôle durant l'expérience</u>
SOUDE CAUSTIQUE ou (hydroxyde de sodium) (NaOH)	 <p>Un produit extrêmement corrosif qui cause de graves brûlures à la peau et aux yeux. Un contact de quelques secondes avec les yeux suffit à causer des lésions permanentes pouvant aller jusqu'à la cécité.</p>	<ul style="list-style-type: none">- ajouter la soude caustique en solution à l'eau en agitant constamment (L'eau doit être tiède, à une température de 27° à 38 °C).- Toujours porter des lunettes de protection contre les agents chimiques- Toujours porter des gants résistants aux produits chimiques-porter une blousse	-Amélioration de la colle convertissement en colle des féculés amylicées
HUILE D'AMANDE AMER		<ul style="list-style-type: none">- on verse goutte à goutte	Conservateurs de colle (anti- moisissure) Antiseptique (substance qui tue ou prévient la croissance des bactéries, champignons)

4.2.3_ Mode opératoire

- On verse 15g d'amidon de pomme de terre dans un récipient.
 - On mesure 100 ml d'eau distillé dans le bécher.
 - On ajoute 5g de soude caustique à l'eau dans laquelle on délayerait l'amidon. Les alcalis caustiques convertissent instantanément en colle les féculs amylicées
 - On ajoute 25 ml de cette eau à l'amidon en agitant jusqu'à l'obtention d'une consistance lisse, puis on couvre le récipient et on laisse le mélange reposer pendant 20 minutes.
 - On place le bécher qui contient le reste d'eau distillée (75 ml) dans une casserole qui renferme assez d'eau pour éviter que le bécher flotte ou qu'il se renverse. On amène l'eau du bécher à l'ébullition.
 - On remue le mélange d'eau distillée et d'amidon dans le récipient avant de la verser dans l'eau bouillante du bécher, en agitant constamment jusqu'à épaississement.
 - Après avoir versé tout le mélange, on laisse cuire encore pendant 10 minutes en remuant.
- On retire le bécher de la casserole et on laisse refroidir le mélange en ajoutant quelques gouttes d'huile d'amande amer.

4.2.4_ Analyse des propriétés physico chimique de la colle obtenue.

- **Essai d'encollage :**

Les bois utilisés pour l'encollage sont des bois durs, très sec (moins de 8%).

On étale 19 g de colle pour une surface de 525 cm² (35x15) soit 360g / m² c'est-à-dire 120 grammes d'amidon au m². On applique une pression supérieur à 5 Kg/ cm² qui doit être maintenu pendant 10 heures.

On répète cette opération de collage avec la colle de référence (même surface à coller, même quantité de colle à étaler) pour la comparaison de ces deux colles.

Avec cette encollage, on a déterminé les propriétés physico chimiques suivantes de la colle obtenue et après on compare les résultats avec ceux de la colle de référence (colle ponol).

- **Tenue dans le temps de collage (Temps de gommage) :**

Période pendant laquelle la colle étalée s'épaissit et augmente son pouvoir d'adhérence. Les pièces à coller ne doivent pas être mises en contact. Après ce

temps c'est la période idéale pour effectuer l'assemblage. Passé ce laps de temps, le collage risque d'être défectueux (temps de travail).

- **Serrage nécessaire ;**
- **Coloration après séchage ;**
- **Taches possibles ;**

Résistance à l'arrachement (mesure de la force de traction) : La résistance à l'arrachement et la résistance à l'eau sont exprimées avec des notations qualitatives.

- **Résistance à l'eau ;**
- **Anti-moisissures ;**

On étudie la modification des propriétés (couleur, odeur, apparition des taches) de colle pendant sa conservation.

- **Conservation dans le temps de la poudre ;**
- **Conservation dans le temps de la colle une fois réalisée.**

Les résultats de ces déterminations sont présentés dans le tableau 10 suivant.

Tableau 10 : Comparaison de la colle d'amidon avec la colle blanche de commerce.

<u>propriétés physico chimique</u>	<u>Colle d'amidon</u>	<u>Colle Ponal</u>
Temps de gommage	15 minutes	15 minutes
Serrage nécessaire	5 Kg/ cm ²	5 Kg/ cm ²
Coloration après séchage	marron	transparent
Taches possibles	oui	Pas de tache
Résistance à l'arrachement	+	++
Résistance à l'eau	Faible résistance (+)	Plus résistant (++)
Présence de moisissures	Oui	non
Conservation dans le temps de la poudre	En mois	
Conservation dans le temps de la colle une fois réalisée	Quelques mois	En année

- Un des avantages de cette colle : elle permet de désencoller les éléments en les trempant dans de l'eau pure.
- Donc son désavantage pour l'ébénisterie c'est qu'elle ne résiste pas à l'humidité. On s'en sert par contre dans la fabrication de contreplaqué.

4.3_ EVALUATION DU COUT DE PRODUCTION

4.3.1_ Prix des matières premières

Pour 1Kg de pomme de terre de 600 Ariary le kilo, on obtient 140g d'amidon.

Donc le prix de 15g d'amidon utilisé dans la fabrication de la colle est de 64 Ariary.

A part l'amidon, on a aussi utilisé de la soude caustique, d'huile d'amande amer et de l'eau qui sont estimés à 20 Ariary.

Avec ses ingrédients, on a obtenu 120g de colle d'amidon dont le prix est de 84 Ariary.

Le prix de revient de 1Kg de colle avec son emballage de 200 Ariary est de 900 Ariary.

4.3.2_ Estimation du prix du produit une fois réalisé

Soient p : le prix de revient d'un produit et n : la marge bénéficiaire (qui dépend de la rentabilité de projet et de la compétitivité de produit). On a choisi, n=50%

Le prix du produit est $P = (p + n.p)$.

Donc on a $P = (900 + 50 \times 900 / 100) = 1350$ Ariary/kg

$P = 1350 \text{ Ariary/kg}$

CHAPITRE - 5 : FABRICATION D'UNE COLLE A BASE DE CASEINE

Introduction

La colle à la caséine est connue depuis l'Antiquité. Elle était autrefois extraite du lait ou du fromage d'où elle tire son nom, « caseus » se traduisant du latin en fromage.

Au moyen-âge, les charpentiers utilisaient déjà le pouvoir exceptionnellement collant de leur fameuse colle à la caséine pour réaliser leur ouvrage, tandis que de l'autre côté du globe, les artisans chinois usaient d'un mélange de lait caillé et de chaux pour coller le bois.

De manière plus contemporaine, jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, la colle à la caséine était utilisée dans le domaine de l'aéronautique notamment pour coller les ailes des avions. Dès le début du XXe siècle, on fera appel à la colle à la caséine pour lier les bois de lamellé-collé.

5.1 _ EXTRACTION DE LA CASEINE DU LAIT

Pour faire coaguler le lait, il y a 3 principales méthodes :

- par action enzymatique (ex : de la pressure qui est constituée d'un ensemble d'enzymes du suc gastrique sécrété par le quatrième estomac de jeunes ruminants) : méthode utilisée en fromagerie,
- par acidification à pH = 4,6 : méthode utilisée en fromagerie,
- par chauffage.





Nous avons utilisé comme méthode pour séparer les constituants du lait : l'acidification du lait à pH= 4,6.

5.1.1 _ Les matériels utilisés

- Un agitateur magnétique chauffant ;
- un pH-mètre ;
- béchers ;
- une thermomètre numérique ;
- un filtre Büchner ;
- un papier filtre ;
- un éprouvette graduée.

5.1.2_ Produits utilisés : pictogrammes et précautions à prendre

Tableau 11 : Produits utilisés pour l'extraction de la caséine

<u>Produits</u>	<u>Pictogrammes de dangers</u>	<u>Précautions à prendre</u>	<u>Rôle durant l'expérience</u>
ACETONE (propanone) CH_3COCH_3	<p>Le contact avec l'acétone peut provoquer des irritations ou des dégâts sur la peau.</p>  <p>C'est un liquide inflammable</p> 	<p>Se protéger les mains car l'acétone est irritante (et les yeux lorsqu'elle est utilisée en projection).</p> <p>Très inflammable. Garder hors de la portée des enfants et à l'écart de flammes ou étincelles.</p> <p>Utiliser dans une pièce bien ventilée. Ne pas rejeter les résidus à l'égout.</p>	<p>Très soluble dans l'eau, bon solvant des matières grasses.</p>
<u>ACIDE</u> <u>ACETIQUE</u> (Acide éthanoïque) CH_3COOH	 <p>L'acide acétique est corrosif et ses vapeurs sont irritantes pour le nez et les yeux.</p>  <p>C'est un liquide inflammable</p>	<p>-Il est donc conseillé de porter des gants et des lunettes. En cas de contact avec la peau ou les yeux, Laver immédiatement à l'eau et au savon et bien rincer.</p> <p>- Tenir à l'écart de la chaleur, des étincelles, des flammes nues, des surfaces chaudes.</p> <p>- Ne pas fumer.</p>	<p>-l'acide acétique acidifie le lait</p>

5.1.3_ Méthode d'extraction de la caséine

5.1.3.1_ Mode Opérateur

On a utilisé le lait de vache pour extraire la caséine car les protéines du lait de vache sont composées à 80 % de caséine.

- On verse 1,5 L de lait dans un bécher.
- On chauffe le lait à 40°C tout en l'agitant. On contrôle la température à l'aide d'un thermomètre.
- On ajoute goutte à goutte une solution d'acide éthanoïque à 1,5 mol.L⁻¹. jusqu'à ce que le pH soit environ 4,6. On contrôle le pH à l'aide d'un pH-mètre.
- On réalise une filtration.

Le solide obtenu s'appelle du caillé qui contient la caséine et la matière grasse. Le filtrat obtenu s'appelle du lactosérum ou petit lait.

- On essore le caillé au maximum en utilisant un filtre Büchner.
- On place le caillé dans un bécher et sous la hotte.
- On verse 50 ml d'acétone et 50ml d'éther éthylique.
- On agite le mélange puis on filtre de nouveau. On répète cette opération deux fois pour bien enlever la matière grasse.
- On sèche la caséine obtenue en la pressant entre un papier filtre.



(1)



(2)



(3)

Photo 8 : (1) extraction de la caséine, (2) caséine humide, (3) caséine sèche

5.1.3.2_ Observations et interprétations

Le pH du lait au début de l'extraction est de 6,6. Lorsqu'on ajoute gouttes à gouttes de l'acide acétique, le pH du lait diminue. Quand la valeur du pH est égale à 4,6 ;

On voit bien que le lait se coagule.

Les caséines forment des micelles portant des charges électronégatives qui se repoussent les unes les autres en constituant une suspension colloïdale. Ce sont elles qui donnent la couleur blanche du lait.

Le pHi (point isoélectrique) des caséines est de 4,6 (à pH 4,6 la charge électrique globale de la protéine est neutre). En conséquence, si la suspension de caséines est portée à pH 4,6, les micelles ne se repoussent plus et les caséines précipitent.

On parle de coagulation acide.

5.1.3.3_ Résultats et analyse du produit obtenu

❖ Résultats :

Pour 1,5 L de lait on a obtenu 46g de caséine soit environ 30g/l.

Le calcul du rendement de caséine est obtenu en tenant compte que, selon la littérature, il y a 2,8 grammes de caséine dans 100 ml de lait et que la caséine représente 80 % du total des protéines. Donc, par un calcul simple, pour 1,5 L de lait, on doit avoir 42g de caséine or on a obtenu 46g. Le taux de la caséine est influencé par la génétique et l'alimentation de la vache.

❖ Analyse des propriétés physico-chimiques de la caséine

➤ Caractère organoleptique :



Photo 9 : Caséine obtenue

La caséine obtenue se présente en grains solides jaune clair ou en corne, d'odeur lactée. Elle est insoluble dans l'eau mais susceptible de se combiner aux acides et aux alcalis.

➤ **Teneur en eau :**

Pour déterminer la teneur en eau d'une caséine il faut la broyer finement avant de la passer à l'étuve sans cela une partie de l'eau peut rester emprisonnée dans le grain.

• **Mode opératoire :**

- On pèse 2 g de caséine finement broyée dans un cristalliseur préalablement taré après dessiccation à l'étuve. On note M, la masse totale de la caséine et du cristalliseur.
- On introduit l'échantillon dans l'étuve pendant 5 h à 105 °C.
- Ensuite, on refroidit l'échantillon à la température ambiante avant d'être pesé.
- On note M₁, la masse du cristalliseur avec l'amidon sec.

• **Calcul :**

Le pourcentage d'humidité est donné par la relation suivante :

$$H_i [\%] = \frac{(M - M_i) \times 100}{M} + 0,3$$

Avec **0.3** : terme correctif pour tenir compte de l'humidité de l'atmosphère.

On prépare deux échantillons de masse M=2g, la valeur moyenne du pourcentage d'humidité est donc :

$$H [\%] = \frac{(H_1 + H_2)}{2}$$

Tableau 12 : Teneur en humidité de la caséine

Echantillonnage	Masse du cristalliseur avec de la caséine sèche M_i (g)	Pourcentage d'humidité H_i (%)
Echantillon 1	1,818	9,4
Echantillon 2	1,797	10,43
Valeur moyenne d'humidité		9,91

• **Interprétation :** [38w, 39w]

Dans la littérature la teneur maximum en eau de la caséine acide est de 10

%. L'échantillon 2 présente une teneur en eau assez élevée que celle de la valeur maximale. Donc le séchage de la caséine n'est pas uniforme.

➤ Teneur en matière minérale

Le dosage des matières minérales constitue, dans l'analyse des caséines lactiques, l'un des éléments les plus intéressants d'appréciation de la qualité du produit. On sait, en effet, qu'une caséine lactique est d'autant meilleure pour l'industrie (et surtout pour la fabrication des colles) qu'elle renferme moins de matières minérales.

• Modes opératoires

On pèse 2g de caséine dans une capsule tarée.

On place la caséine dans le four à température 900 °C à 950°C jusqu'à ce qu'elle soit réduit en cendres.

On laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse de nouveau.

• Calcul

La teneur en cendre de l'échantillon est calculée par la formule suivante :

$$X = \frac{(G_2 - G) \cdot 100}{G_1 - G} \%$$

X: Teneur en cendres (%).

G: Masse de la capsule à vide (g).

G₁: Masse de la capsule et de l'échantillon (g)

G₂: Masse de la capsule et de la cendre blanche (g)

P= G₂ - G : Poids du résidu

On utilise les deux échantillons secs précédant, et on a les résultats suivants :

Tableau 13 : Teneur en matières minérales de la caséine.

Echantillonnage	Poids du résidu (g)	Teneur en cendre [%]
Echantillon 1	0,014	0, 7
Echantillon 2	0,013	0,69
Teneur en cendre moyenne		0,695

- **Interprétation** : [38w, 39w]

Dans la littérature la teneur maximum en cendres de la caséine acide est de 2,5 %. Mais la vérité c'est que, la caséine pure, ne contient pas de matières minérales. Cette teneur est due à l'existence de précipitation en dehors du point isoélectrique ; aux conditions de température et de durée optima, rarement observées et aux lavages en général insuffisants.

➤ **Teneur en matière grasse**

La teneur en matière grasse des caséines est aussi l'un des facteurs les plus importants de l'appréciation de la qualité de ces substances.

Dans les applications industrielles on relève, au moins, deux catégories principales d'inconvénients ou d'accidents dus à des teneurs trop élevées en matière grasse:

- *Diminution du pouvoir adhésif des colles préparées avec la caséine.* (En menuiserie, ébénisterie, carrosserie, industrie du contreplaqué, cette circonstance peut devenir désastreuse.) ;
- *Diminution du rendement des colles et enduits.*

Il est donc du plus haut intérêt de pouvoir doser cette substance avec exactitude.

- **Mode opératoire** :

Les lipides sont extraits selon la méthode de Folch (Folch *et al.* 1957). Cette technique repose sur le principe d'extraction à froid des lipides par un mélange de solvants méthanol/chloroforme (1/2, v/v). L'addition d'une solution aqueuse de NaCl à 0,9% (p/v) favorise l'obtention d'un système biphasique. La phase supérieure constituée de méthanol et d'eau contient les composés hydrophiles (glucides et protéines) tandis que les lipides sont dissous dans la phase organique inférieure.

1g d'échantillon est pesé dans un erlenmeyer de 250ml.

Les échantillons secs (correspondant aux fractions lyophilisées) doivent être préalablement réhydratés avant l'extraction. Quatre volumes d'eau sont ajoutés aux échantillons secs.

Vingt volumes de solution méthanol/chloroforme (1/2) sont ajoutés. Le mélange est mis sous agitation pendant 60 minutes. Par filtration sur verre fritté, les composés solides non lipidiques et non solubilisés dans le mélange de solvants sont éliminés. Le filtrat est alors versé dans une ampoule à décanter. Une quantité d'eau salée (0,9% NaCl) est ajoutée à raison de 20% du volume total de méthanol/chloroforme.

L'ampoule est agitée jusqu'à émulsion complète du mélange puis la décantation est réalisée pendant trois heures en chambre froide à l'abri de la lumière.

La phase organique inférieure est récupérée dans un ballon taré, évaporée à l'évaporateur rotatif, puis placée sous azote pour éliminer toute trace de solvant. Après évaporation totale du solvant, le ballon contenant l'extrait lipidique est pesé. La phase aqueuse supérieure est éliminée.

- **Calcul**

La teneur en lipides est calculée selon la formule suivante :

$$X_L = \frac{(M_2 - M_1) \cdot 100}{M_0} (\%)$$

Mo: Masse d'échantillon (g).

M1: Masse du ballon vide (g).

M2: Masse du ballon contenant l'extrait lipidique après évaporation du solvant (g).

Tableau 14 : Teneur en matière grasse de la caséine

Echantillon	masse de l'extrait lipidique M = M2- M1 (g)	Teneur en matière grasse [%]
Echantillon 1	0,014	1,4
Echantillon 2	0,011	1,1
Teneur moyenne en matière grasse		1,25

- **Interprétation**

La teneur moyenne en matières grasses d'une caséine de bonne qualité voisine 1% Dans certaines caséineries industrielles travaillant avec des méthodes modernes, ce chiffre est souvent abaissé au-dessous de 0,5 %. Par contre, dans la fabrication courante, il est fréquent, il est même d'usage de trouver des teneurs de 1,7-1,8%.

➤ **Le pH :**

On agite 10 g de caséine dans 100 ml d'eau pendant quelques minutes. Puis on effectue une décantation et on mesure la valeur du pH de la solution et on trouve 4,8.


5.2 PREPARATION DE LA COLLE DE CASEINE

5.2.1 Les matériels utilisés

- Spatule ;
- Béchers ;
- Balance.

5.2.2 Produits utilisés : Pictogrammes, précautions à prendre et rôle

Tableau 15 : Produits utilisés pour la préparation de la colle de caséine

<u>Produits</u>	<u>Pictogrammes de dangers</u>	<u>Précautions à prendre</u>	<u>Rôle durant l'expérience</u>
Carbonate de calcium CaCO_3			bicarbonate pour éliminer tout reste d'acidité,
Hydroxyde de calcium Ca(OH)_2	 <p>Légèrement irritant Provoque une irritation cutanée Provoque des lésions oculaires graves Peut irriter les voies respiratoires</p>	- Il est donc conseillé de porter des gants et des lunettes. En cas de contact avec la peau ou les yeux, laver à grande eau.	

5.2.3_ Mode opératoire

- Ancienne formulation

La colle dans la formulation ancienne contient beaucoup d'eau.

Tableau 16 : Ancienne Formulation de la colle de caséine.(2w)

Caséine (tamis 90)	100g
Chaux éteinte	18g
Carbonate de soude	5g
Fluorure de sodium	7g
Eau	260g

- Nouvelle formulation

La caséine est mise à gonfler dans l'eau (malaxage) pendant une demi-heure dans un bécher.

On dilue la chaux éteinte (hydroxyde de calcium, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) dans un peu d'eau, puis on verse le lait de chaux dans le bécher.

On ajoute du carbonate de calcium CaCO_3 (craie) et de l'eau. On mélange les trois constituants jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène.

Des produits antiseptiques ou chimiques, pour améliorer la colle (augmentation de la durée de vie par exemple) sont aussi utilisés.

Il s'est formé durant l'agitation du bain pendant une demi-heure, un liquide visqueux contenant essentiellement du caséinate de chaux qui va se comporter un peu à la façon d'un ciment, en faisant prise en une heure et demie ou deux heures.

Tableau 17 : Nouvelle Formulation de la colle de caséine

Caséine	8g
Chaux éteinte	2g
d'hydroxyde de calcium CaCO ₃	0,8g
eau	6 ml

La colle fabriquée selon la formulation ancienne est moins visqueuse que notre colle fabriquée selon la nouvelle formulation.

La colle dans la formulation ancienne contient beaucoup d'eau.

5.2.4_ Analyse des propriétés physico chimique de la colle obtenue et comparaison avec la colle de référence

- **Essai d'encollage :**

On étale 11g de colle de caséine pour une surface de 525 cm² (35x15) soit 200 g/m² pour la simple face c'est-à-dire 60 à 100 gr de caséine sèche au m². On applique une pression supérieur à 5 Kg/ cm² qui doit être maintenu pendant 10 heures.

On répète cette opération de collage avec la colle de référence (même surface à coller, même quantité de colle à étaler) pour la comparaison de ces deux colles.

Avec cette encollage, on a déterminé les propriétés physico chimiques suivantes de la colle obtenue et après on compare les résultats avec ceux de la colle de référence (colle ponal).

Les résultats de ces déterminations sont présentés dans le tableau 18 suivant.

Tableau 18 : Comparaison de la colle de caséine avec la colle blanche de commerce

<u>propriétés physico chimique</u>	<u>Colle de caséine</u>	<u>Colle Ponal</u>
Temps de gommage	5 minutes	15 minutes
Serrage nécessaire	Pression supérieur à 5 Kg/ cm ²	Pression supérieur à 5 Kg/ cm ²
Coloration après séchage	blanche	transparent
Taches possibles	Elle tache les bois	Pas de tache
Résistance à l'arrachement	+++	++
Résistance à l'eau	Plus résistant que la colle de référence (+++)	Moins résistant (++)
Présence de moisissures	non	non
Conservation dans le temps de la poudre	On peut conserver la poudre plus longtemps (en mois)	
Conservation dans le temps de la colle une fois réalisée	Durée d'utilisation assez courte.	En année

5.3 _ EVALUATION DU COUT DE PRODUCTION

5.3.1 _ Prix des matières premières

Pour 1,5 l de lait de vache à peu près 2400 Ariary, on obtient 46g de caséine.

Donc le prix de 8g de caséine utilisé dans la fabrication de la colle est de 480 Ariary.

A part à la caséine, on a aussi utilisé 2g de chaux éteinte ; 0,8g de carbonate de calcium, de l'eau et de l'électricité qui sont estimés à 200 Ariary.

Avec ces ingrédients, on a obtenu 17g de colle d'amidon dont le prix est de 680 Ariary.

Le prix de revient de 100g de colle avec son emballage de 200 Ariary est de 4200 Ariary.

5.3.2 Estimation du prix du produit une fois réalisé

Soient p : le prix de revient d'un produit et n : la marge bénéficiaire (qui dépend de la rentabilité de projet et de la compétitivité de produit). On a choisi, n=25%

Le prix du produit est $P = (p + n.p)$

Donc on a $P = (4200 + 25 \times 4200 / 100) = 5250$ Ariary/100g

$P = 5250$ Ariary/100g

Soit :

$P = 52500$ Ariary/kg

CHAPITRE 6: FABRICATION D'UNE COLLE A BASE DE GELATINE

Introduction

La colle de gélatine est fabriquée avec des tissus animaux, os, tendons, peau, nerfs...

Les meilleurs produits sont fournis par les peaux ; les nerfs donnent des produits moins bons et les os donnent les gélatines les moins résistantes de toutes. Mais dans chaque catégorie, les fractionnements successifs donnent des produits très différents allant de la gélatine pure, absolument incolore, réservée à des industries telles que la photographie, jusqu'aux colles fortes ordinaires très foncées. Son usage est très ancien. Elle est utilisée en ébénisterie, en marqueterie et en lutherie.

6.1 PRODUCTION DE LA GELATINE A PARTIR DE LA PEAU DE VACHE

La production de gélatine s'appuie essentiellement sur 3 matières premières : les peaux de porc (pig skins), les peaux de bovin et les os.

Il existe également des gélatines extraites d'arêtes et de peaux de poisson ou de matières premières ovines. Les premières ne sont disponibles qu'en faible quantité, les secondes sont essentiellement produites dans l'hémisphère sud.

Dans ce travail, on a utilisé les peaux de vache pour produire de la gélatine.

6.1.1 Les matériels utilisés

- Une balance ;
- Tissu en coton ;
- Planche en bois ;
- Spatule en bois.

6.1.2_ Les produits utilisés

Tableau 19 : Produit utilisé pour la production de la gélatine

<u>Produits</u>	<u>Pictogrammes de dangers</u>	<u>Précautions à prendre</u>	<u>Rôle durant l'expérience</u>
Hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{HO})_2$ (<u>chaux éteinte</u>)	- légèrement irritant	- Il est donc conseillé de porter des gants et des lunettes. En cas de contact avec la peau ou les yeux, laver à grande eau.	- supprime la plupart des minéraux et les bactéries - facilite la libération de collagène.

6.1.3_ Méthode de fabrication de la gélatine

6.1.3.1_ Mode Opératoire

On pèse 1 Kg de peau de vache qu'on lave avec de l'eau à haute pression pour enlever les débris. On a dégraissé en la trempant dans l'eau chaude pour réduire la teneur en matière grasse à environ 2% et pour arracher les poils.

On trempe les peaux dans une cuvette contenant du lait de chaux pendant 15 jours. On les lave à grand puis on les égoutte.

On charge les peaux dans une marmite et on ajoute 6L d'eau distillé et on fait bouillir pendant 18 heures en remuant le mélange (on essaie avec les doigts si le liquide colle).

On filtre avec un tissu le liquide pour séparer les morceaux de peau qui sont encore attachés.

On coule le liquide sur des planches en bois et après refroidissement on découpe les carrés obtenus, que l'on tient à l'abri de l'humidité.

6.1.3.2_ Résultats et analyse du produit fini

❖ Résultat de production

Pour 1Kg de peau de vache on a obtenu 180 g de gélatine découpé en petites plaques.



Photo 10 : Gélatine obtenue

❖ **Analyse de la gélatine obtenue**

➤ **Caractères organoleptiques**

La gélatine qu'on a obtenue a une coloration jaune brun et d'odeur désagréable.

➤ **Taux d'humidité de la gélatine :**

• **Mode opératoire**

On fait sécher les 2 flacons de pesage avec des couvercles en verre (à la température de l'étuve) et on laisse refroidir dans le dessiccateur. On pèse 2g d'échantillon dans chaque flacon de pesage.

On fait sécher les échantillons à 105 °C dans l'étuve. On retire le contenu après 5 heures, on laisse refroidir dans le dessiccateur et on pèse. On répète le processus jusqu'à l'obtention d'une masse consistante.

• **calcul**

Le pourcentage d'humidité est donné par la relation suivante :

$$H_i [\%] = \frac{(M - M_i) \times 100}{M} + 0,3$$

Avec **0.3** : terme correctif pour tenir compte de l'humidité de l'atmosphère.

On prépare deux échantillons de masse $M=2g$, la valeur moyenne du pourcentage d'humidité est donc :

$$H [\%] = \frac{(H_1 + H_2)}{2}$$

Tableau 20 : Teneur en humidité de la gélatine

Echantillonnage	Masse du cristalliseur avec la gélatine sèche M_i (g)	Pourcentage d'humidité H_i (%)
Echantillon 1	1,767	11,95
Echantillon 2	1,774	11,6
Valeur moyenne d'humidité		11,77

- **interprétation**

Dans la théorie, la teneur en humidité ne dépassant pas 16%, sinon il y a développement de moisissures, car elles sont cultivées dans des milieux à fort teneur en eau.

➤ **Teneur en Cendres**

- **Mode opératoire**

On pèse 2g de gélatine dans une capsule tarée.

On place la caséine dans le four à température 900 °C à 950°C jusqu'à ce qu'elle se réduise en cendres.

On laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse de nouveau.

- **calcul**

La teneur en cendre de l'échantillon est calculée par la formule suivante:

$$X = \frac{(G_2 - G) \cdot 100}{G_1 - G} \%$$

X: Teneur en cendres (%).

G: Masse de la capsule à vide (g).

G₁: Masse de la capsule et de l'échantillon (g)

G₂: Masse de la capsule et de la cendre blanche (g)

P= G₂ - G : Poids du résidu

On utilise deux échantillons, et on a les résultats suivants :

Tableau 21 : Teneur en cendre de la gélatine

Echantillonnage	Poids du résidu (g)	Teneur en cendre (%)
Echantillon 1	0,024	1,2
Echantillon 2	0,018	0,9
Teneur en cendres moyenne		1,05

Dans la théorie, la teneur en cendres de masse pour la gélatine ne dépasse pas 2% (en masse).

➤ **Solubilité de la gélatine**

La gélatine gonfle dans l'eau froide et test entièrement soluble dans l'eau chaude. Une température aux environs de 60°C est nécessaire pour libérer la structure ordonnée de la gélatine à l'état sec.

6.2 PREPARATION DE LA COLLE DE GELATINE

6.2.1 _ Les matériels utilisés

- Balance ;
- un bécher ;
- plaque chauffante ;
- casserole pour le bain marie.

6.2.2 _ Produits utilisés : pictogrammes, précautions à prendre et rôle

Tableau 22 : Produit utilisé pour la préparation de la colle de gélatine.

<u>Produits</u>	<u>Pictogrammes</u> <u>De dangers</u>	<u>Précautions à</u> <u>prendre</u>	<u>Rôle durant</u> <u>l'expérience</u>
<u>CaCO₃</u>			additifs
glycérine			- Pour assouplir la colle

6.2.3_ Mode opératoire

- On fait tremper 5 g de gélatine dans 50 ml d'eau pendant 10 heures dans un bécher.
- On ajoute 2g de carbonate de calcium (CaCO_3 les additifs).
- On chauffe ensuite au bain marie (60°C) pour obtenir la dissolution. Il ne faut ni chauffer trop, ni chauffer trop longtemps.
- On ajoute aussi quelques gouttes de glycérine pour assouplir la colle.
- On laisse sécher la colle.

6.2.4_ Analyse des propriétés physico chimique de la colle obtenue

- **Essai d'encollage :**

On étale 12,6 g de colle de gélatine pour une surface de 525 cm^2 (35×15) soit 120 g/m^2 pour la simple face c'est-à-dire 50 gr de caséine sèche au m^2 . On applique une pression supérieur à 5 Kg/cm^2 qui doit être maintenu pendant 10 heures. Cela se fera toujours à l'abri de courants d'air, de façon à éviter la formation d'une pellicule sur le film de colle.

On répète cette opération de collage avec la colle de référence (même surface à coller, même quantité de colle à étaler) pour la comparaison de ces deux colles.

Avec cette encollage, on a déterminé les propriétés physico-chimiques suivantes de la colle obtenue et après on compare les résultats avec ceux de la colle de référence (colle ponal).

Les résultats de ces déterminations sont présentés dans le tableau 22 suivant.

Tableau 23 : Comparaison de la colle de gélatine avec la colle blanche de commerce.

<u>Propriétés physico chimique</u>	<u>Colle de gélatine</u>	<u>Colle Ponal</u>
Temps d gommage	5minutes	15 minutes
Serrage nécessaire	5 Kg/ cm ²	5 Kg/ cm ²
Coloration après séchage	transparent	transparent
Taches possibles	Pas de tache	Pas de tache
Résistance à l'arrachement	++	++
Résistance à l'eau	++	++
Conservation dans le temps de la plaque	1 an dans un endroit sec	
Conservation dans le temps de la colle une fois réalisée	En année	En année

6.3_ EVALUATION DU COUT DE PRODUCTION

6.3.1_ Prix des matières premières

Pour 1Kg de peau de vache à peu près 2000 Ariary, on obtient 180g de gélatine. Donc le prix de 5g de gélatine utilisé dans la fabrication de la colle est de 10 Ariary. A part à la gélatine, on a aussi utilisé 2g carbonate de calcium, de l'eau et de l'électricité qui sont estimés à 200 Ariary.

Avec ses ingrédients, on a obtenu 57g de colle d'amidon dont le prix est de 210 Ariary.

Le prix de revient de 1Kg de colle avec son emballage de 200 Ariary est de 3800 riary.

6.3.2 Estimation du prix du produit une fois réalisé

Soient p : le prix de revient d'un produit et n : la marge bénéficiaire (qui dépend de la rentabilité de projet et de la compétitivité de produit). On a choisi, $n=50\%$

prix du produit est $P = (p + n.p)$

Donc on a $P = (3800 + 50 \times 3800 / 100) = 5700 \text{ Ariary/Kg}$

$$P = 5700 \text{ Ariary/kg}$$

CHAPITRE 7 : ETUDE COMPARATIVE ET EVALUATION DES IMPACTS SOCIOECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX.

7.1_ LES METHODES DE CARACTERISATION UTILISEES POUR COMPARER LES COLLES FABRIQUEES AUX COLLES DE REFERENCE

Les colles commerciales de référence et les colles fabriquées doivent pouvoir être comparées en fonction de propriétés liées à leur fonction.

On peut examiner les critères suivants :

- Résistance à l'arrachement (mesure de la force de traction)
- Résistance à l'humidité
- Anti-moisissures
- Durée nécessaire à l'établissement du collage
- Conservation dans le temps de la poudre
- Conservation dans le temps de la colle une fois réalisée
- Serrage nécessaire
- Durcissement
- Coloration après séchage
- Taches possibles

➤ Résistance à l'arrachement des collages des supports bois - bois :

Une colle résiste fortement à la traction exercée avant que ne se produise le décollement. Cette force de traction, est proportionnelle à la surface encollée. De plus comme toute colle agit grâce à des interactions électrostatiques de Van Der waals qui dépendent des matériaux, Le résultat ne sera sûrement pas le même si on change de matériaux.

Pour la mesure, on utilise un dynamomètre. (On colle deux matériaux dont l'un serait solidement fixé à une table par exemple et l'autre à un dynamomètre. Ensuite on tire sur le dynamomètre progressivement et on regarde la force pour laquelle l'autre matériau lâche).

➤ Résistance à l'humidité :

On étudie le comportement du collage en présence d'eau.

Les collages sont sensibles à la présence d'eau dans leur environnement. Quand elle ne déforme pas le substrat, l'eau à l'état liquide ou à l'état de vapeur modifie la colle durcie et agit à l'interface solide-adhésif.

➤ **Anti-moisissures**

La moisissure est le nom courant attribuer à tout champignon qui se forme sur la nourriture ou sur les matériaux de construction humides. Elle a souvent l'apparence d'une tache et peut se présenter sous diverses couleurs. Par contre, la moisissure peut être invisible dans certains cas, mais peut se manifester par une odeur de moisi. La croissance de moisissure peut contribuer à une mauvaise qualité de l'air.

➤ **Durée nécessaire à l'établissement du collage (Temps de gommage):**

Période pendant laquelle la colle étalée s'épaissit et augmente son pouvoir d'adhérence. Les pièces à coller ne doivent pas être mises en contact.

➤ **Conservation dans le temps de la poudre**

Le temps de conservation dépend de la nature de la colle mais en générale pour avoir une longue durée de conservation, il faut placer la poudre dans un local tempéré à l'abri d'humidité et bien ventilé.

➤ **Conservation dans le temps de la colle une fois réalisée**

Après usage, conserver la colle dans un endroit frais et sec et à l'abri de la lumière, bien la fermer mettre au réfrigérateur. La durée de conservation dépend aussi de la nature de la colle.

➤ **Serrage**

Le serrage consiste à maintenir en contact les différentes pièces d'un assemblage en exerçant une pression

En générale, le collage nécessite une serrage mais il ne faut pas serrez exagérément les pièces à coller, une trop grande pression fait sortir la colle des joint Serrage peut être réalisé à froid ou à chaud avec les outils usuels (serre-joint, presses...)

➤ **Durcissement**

La stabilisation ou le temps **de durcissement de la colle est** le temps écoulé entre la fin de l'opération de pression et le début de la sollicitation mécanique en service.

Le durcissement de la colle dépend surtout de la température ambiante, le support, l'épaisseur de colle et l'humidité relative.

➤ **Coloration après séchage**

Après séchage, est ce que la colle change de couleur ?

➤ **Taches possibles**

7.2_ ETUDE COMPARATIVE DES TROIS COLLES AVEC LA COLLE DE COMMERCE

7.2.1_ Comparaison des trois colles avec la colle de commerce

Le tableau suivant regroupe les propriétés des 3 colles obtenues et celles de la colle « ponal » de commerce. La résistance à l'arrachement et la résistance à l'eau sont exprimées avec des notations qualitatives.

Tableau 24 : Données comparatives amidon, caséine, gélatine et « Ponal »

Propriétés physico chimique	Colle d'amidon	Colle de caséine	Colle de gélatine	Colle de commerce : Ponal
Temps de gommage	15 minutes	5 minutes	5 minutes	15 minutes
Serrage nécessaire	nécessaire	nécessaire	nécessaire	nécessaire
Coloration après séchage	marron	blanche	transparent	transparent
Taches possibles	oui	oui	non	non
Résistance à l'arrachement	+	+++	++	++
Résistance à l'eau	+	++	++	++
Conservation dans le temps de la poudre	En mois	Plus de 1mois	En année	
Conservation dans le temps de la colle une fois réalisée	Quelques mois	Seulement le jour de sa réalisation	En mois	En année
Quantité de colle par m² (g)	362	209	240	240
Prix de 1kg (Ariary)	1350	52500	5700	16000
Prix de colle par m² (en Ariary)	488	10972	1368	3840

7.2.2_ Interprétations.

- En termes de séchage, la colle de caséine et de gélatine sèche plus vite que la colle d'amidon et celle du commerce.
- Nous avons constatés que le collage avec ces 4 colles nécessitent tous un serrage.
- La colle d'amidon et la colle de caséine présentent une coloration marron et blanche après séchage alors que la colle de gélatine et du commerce sont transparent. Ces deux premières colles tachent les bois, et pour des ouvrages qui exigent l'esthétique au niveau coloration du produit fini, cela représente un désavantage.
- La résistance à l'arrachement renseigne sur l'efficacité de la colle. La colle à la caséine est beaucoup plus efficace par rapport aux trois autres, ensuite la colle de gélatine qui a le même degré d'efficacité que la colle de commerce, et enfin la colle d'amidon la moins performante de ces 4 colles.
- La résistance à l'arrachement de ces 4 colles est proportionnelle à leur résistance à l'eau.
- Le temps de conservation de la poudre d'amidon et la conservation de la colle une fois réalisée est assez courte par rapport à la caséine, la gélatine et le « ponal » qui sont estimées à être conservées en mois ou en année.
- Pour une même surface, la quantité de la colle d'amidon à étaler est plus grande que pour les autres. Par contre le collage à la caséine n'utilise que peu de colle.
- En termes de coût, la caséine présente un coût très élevé, ensuite la colle de gélatine et par la suite celui de l'amidon est la moins coûteuse.
- D'après cette étude comparative, c'est la colle de caséine qui est la plus efficace des trois colles mais en comparaison par rapport à la colle de commerce c'est la colle de gélatine qui est la meilleure. Elles ont à peu près les mêmes propriétés mais le coût de la colle de gélatine est le moins élevé.

7.3_ EVALUATION DES IMPACTS SOCIOECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX.

Toutes les activités économiques ont un double impact sur l'environnement : elles y puisent des ressources naturelles (matières premières, énergie, eau, sol, etc.) dont

elles ont besoin pour fonctionner et y rejettent des déchets (eaux usées, fumées, poussières, etc.). De cette manière, elles contribuent à la dégradation de l'environnement.

7.3.1_ Evaluation des impacts socioéconomiques

Plusieurs impacts peuvent être attendus en conséquence de l'utilisation de l'amidon, de la caséine et de la gélatine et sur la fabrication des colles.

- La production locale des plantes amylacées tropicales telles que manioc, patates douces et pomme de terre pourrait être relancée.
- Entraîne un nouveau débouché.
- Valorisation de la culture et de l'élevage.
- Du point de vue consommateur un coût abordable entraîne une meilleure accessibilité à un produit de qualité
- Au niveau industrie, la mise au point d'une matière première par la valorisation du produit local permettrait de générer de la valeur ajoutée et amortirait la dépendance aux matières premières importés
- Utilisation de matières premières coûteuse comme le lait.

7.3.2_ Evaluation des impacts environnementaux

L'utilisation de l'amidon, caséine et gélatine dans la fabrication des colles à bois naturelles a plusieurs impacts environnementaux :

- L'amidon, la caséine et la gélatine sont des produits naturels qui est compatibles avec les recommandations sur les dangers des produits synthétiques.
- la culture intensive des plantes amylacées tropicales utilise des fertilisants.
- Les procédés de **fabrication** peuvent provoquer des nuisances acoustiques, visuelles ou olfactives (comme les vibrations, le bruit, les odeurs, etc.) qui nuisent à la qualité de vie des travailleurs et des alentours.

CONCLUSION

Les résultats d'analyse de l'amidon, de la caséine et de la gélatine montrent que ces produits, sont secs, ils présentent une acidité et solubilité modérées et une teneur en cendres faibles.

Ces produits obtenus ont permis d'élaborer, des produits auxiliaires des colles naturelles, dont les caractéristiques sont comparables à celles d'un produit déjà commercialisé.

Le seul problème est le prix élevé de la matière première comme le lait qui accroît le prix de revient de la colle obtenue.

On constate que :

- le procédé de fabrication de la colle est assez simple
- les colles sont faciles à utiliser
- l'élaboration de ces produits contribue à la valorisation de la culture des plantes amylacées tels que les pommes de terres, maïs, patates douce et de l'élevage. Par conséquent, l'importance socio-économique de ce secteur d'activité pourrait motiver les paysans.

Ces produits obtenus ne sont pas seulement destinés pour les bois mais aussi pour d'autres matériaux tels que : papiers, contre-plaqué, ...

BIBLIOGRAPHIE

1. DETIC ASBL-VZW
« Le Petit Manuel des Colles et Mastics »
2. PRIORITERRE
« CHOISIR SES COLLES »
Information et Conseil Energie Eau Consommation. s
3. BOUTEAU Murielle
« Propriétés de mouillage de surfaces chimiquement hétérogènes »
Thèse Laboratoire de physico-chimie des polymères et des interfaces,
EA 2528 22 juin 2007. ECOLE DOCTORALE SCIENCES ET
INGENIERIE De l'Université de Cergy-Pontoise
4. AUFRAY Maëlen
« Adhésion et Adhérence des Matériaux »
Fascicule 6 octobre 2009
5. J. Briant
« Phénomènes d'interface agents de surface : principes et modes
d'action ». Ecole nationale supérieure du pétrole et des moteurs. Edition
TECHNIP 1989
6. Document enseignant
« COUPE D'UN TRONC D'ARBRE » CAP SCIENCES 2005.
7. GHAZIL Saloua
« ETUDE DE LA MIGRATION DES FLUIDES DANS LE BOIS »
Thèse en Sciences du Bois et des Fibres NANCY UNIVERSITE
8. DELMAS Guo-Hua
La Biolignine : "Structure et Application à l'élaboration de résines
époxy"
Génie des Procédés et de l'Environnement. UNIVERSITE DE
TOULOUSE
9. ATELIER SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DU BOIS
« LES PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES DU BOIS ».
10. LEPRAT Guy

« Les colles et adhésifs et leurs emplois industriels, le collage dans les industries du cuir » vol 4.

Paris : 1981

11. VINCHES Gérard

« Colles et Adhésifs »

Technique de l'Ingénieur

Janvier 1973, A2290

12. HOEKMA S.D., RAVENSTYN, SCHILDERMAN et al

« La préparation de colles animales »

LOUVAIN : ATOL, 1981

13. RAMA Louis

« Les collages dans l'industrie de la chaussure »

LYON : centre technique du cuir, 1978

14. M. Manguin, M. Ansart

« Les dextrines et les adhésifs à base de dextrines »

Société Paul Doittan – Matériaux et techniques 1984

15. ANDRIAMANALINA Zaka Bary-Jaona, ANDRIANANTENAINA

Fanomezantsoa R.

« Etude de production d'amidon pré gélatinisé à partir de fécule de manioc »

Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo promotion 1991.

16. ARNAUD P.

« Cours de Chimie organique »

Bordas Paris 1985

17. MOORE J.A., ALAIN Staub

« Chimie organique moderne »

Edition HRV

18. COGNARD Philippe, PARDOS Françoise

« Le collage industriel : mise en œuvre des colles et adhésifs, caractéristiques et limites d'emploi, secteur d'application ».

Paris : l'usine nouvelle, 1981

19. LASZLO Pierre

« Logique de la synthèse organique »

Paris 1993

20. VILLON A.M., P. GUICHARD

« Dictionnaire de la chimie industrielle » tome 2

Paris, Bernard TIGNOL Editeur.

21. VANDERHOFSTADT Bruno, Consultant CDE et SOC International, Belgique

JOUAN Bernard, ASF, ex Directeur de recherches NRA, France

« Guide pratique de la culture de la pomme de terre en Afrique de l'Ouest »

22. ALAIS C.

« Science du lait ».

Sépaic, Paris 1984.

23. Sandra, Isabelle, Andrée, Simone, POUGHEON

« CONSEQUENCES EN TECHNOLOGIE LAITIERE »

Thèse DOCTEUR VETERINAIRE DIPLOME D'ETAT

Université Paul-Sabatier de Toulouse 2001

WEBOGRAPHIE

- 1.w. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Polym%C3%A8re> (polymère) (11-03-2014)
- 2.w.<http://passion.bois.free.fr/le%20materiau%20bois/colles/Les%20colles%20a%20bois.htm> (colle à bois et ameublement) (20-08-2014)
- 3.w.(<http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/colle-1/>) (04-07-2011)
- 4.w.<http://fr.wikipedia.org/wiki/Colle>) (26-06-2013)
- 5.w.<http://www.toutcoller.com/pub/detente/encyclopedie-definition,id-517,chid-9017.html> (26-10-2014)
- 6.w.(<http://www.cnrtl.fr/definition/mouillabilit%C3%A9>) (03-04-2013)
- 7.w.<http://www.boussey-control.com/tension-superficielle/ameliorer-collage.htm> (13-07-2014)
- 8.w.www.boussey-control.com/tension-superficielle/tension-superficielle.htm (22-12-2011)
- 9.w.<http://fr.wikipedia.org/wiki/Adh%C3%A9sion> (28-9-2014)
- 10.w.<https://sites.google.com/site/nanoschoolcime/etape-1-d-1> (03-04-2014)
- 11.w.http://fr.wikipedia.org/wiki/Force_de_van_der_Waals (12-11-2014)
- 12.w.http://fr.wikipedia.org/wiki/Contrainte_de_cisaillement (03-04-2014)
- 13.w.<http://www.toutcoller.com/pub/detente/encyclopedie-introduction,id-518,chid-9031.html>) (07-05-2014)
- 14.w.http://tpe-colles.pagesperso-orange.fr/xhtml_partie2.html (07-01-2013)
- 15.w.<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/bois/> (22-03-2014)
- 16.w.<http://fr.wikipedia.org/wiki/Bois> (03-04-2013)
- 17.w.<http://lmc.epfl.ch/files/content/sites/lmc/files/shared/GC%20Courses/Bois-Chapitre.pdf> (26-06-2013)
- 18.w<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/nouvelles-technologies-energies-renouvelables-et-stockage-42594210/bois-energie-be8535/composition-et-proprietes-du-bois-be8535niv10005.html> (04-07-2011)
- 19.w.<http://webpeda.ac-montpellier.fr/wspsc/ABCDORGA/Famille/CHIMIEDUBOIS.html>(03-04-2014)
- 20.w.http://www.iqe.edu/Bois_durs_vs_bois_tendres.php(07-01-2013)
- 21.w.http://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9chage_du_bois(28-09-2014)

- 22.w.www.lescopeaux.asso.fr (03-04-2014)
- 23.w.http://www.cbmq.com/fr/bois_humidite.php(13-07-2014)
- 24.w.<http://www.flamespace.fr/comment-reconnaitre-un-bois-sec-dun-bois-humide/> (03-04-2014)
- 25.w.http://www.memoireonline.com/11/12/6472/m_Etude-sur-l-Industrie-de-lamidon2.html(03-04-2014)
- 26.w.http://librairie.immateriel.fr/fr/read_book/9782738006769/e9782738006769_c10 (11-03-2014)
- 27.w.<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Marche/pommedeterre.htm>(12-11-2014)
- 28.w.http://julientap.free.fr/travail_fichiers/les_amidons.pdf(26-10-2014)
- 29.w.<http://labotp.org/TPSPELPOLA/Spe-3.2.3.Colle-Lait.pdf> (1)
- 30.w. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Cas%C3%A9ine>
- 31.w.http://cedricko.com/Joomla/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=70&Itemid=72(12-11-2014)
- 32.w.<http://bu.umc.edu.dz/theses/agronomie/GHA6008.pdf> (07-01-2013)
- 33.w.<http://www.slampert.com/Activites%20pedagogiques/TPONC2.pdf>(03-04-2014)
- 34.w.<http://tpe-lagelatine.perso.sfr.fr/zzp4a-gelatineporcboeuf.php> (07-01-2013)
- 35.w.<http://jelly.e-monsite.com/pages/en-francais/partie-scientifique/la-gelatine-une-proteine.html> (11-03-2014)
- 36.w.<http://www.weishardt.com/doc/proprietes-gelatine.pdf> (03-04-2013)
- 37.w.<http://www.madehow.com/Volume-5/Gelatin.html> (13-07-2014)
- 38.w.<http://www.weishardt.com/doc/fabrication-gelatine.pdf>(03-04-2014)
- 39.w.<http://www.tunisieindustrie.nat.tn/fr/download/idees/ICH/37.pdf> (03-04-2014)
- 40.w.<http://www.droit-bilingue.ch/rs/lex-20050160-35-fr-fr.html> (03-04-2014)

ANNEXE I : CALCUL DE MARGE BENEFICIAIRE BRUTE

La marge bénéficiaire brute est un ratio qui mesure la rentabilité relative des ventes.

Calcul

La marge bénéficiaire brute se calcule en divisant la marge brute par le total des recettes :

$$\text{Marge bénéficiaire brute} = \frac{\text{Marge brute}}{\text{Recettes totales}} \times 100 = \frac{\text{Chiffre d'affaires} - \text{Coûts totaux}}{\text{Chiffre d'affaires}} \times 100$$

Pour un produit unique, cette expression peut se simplifier en faisant la différence entre son prix de vente et son coût de revient, puis en divisant par le prix de vente :

$$\text{Marge bénéficiaire brute} = \frac{\text{Prix de vente} - \text{Coût de revient}}{\text{Prix de vente}} \times 100$$

Remarques

La marge bénéficiaire brute peut être délicate à interpréter lorsqu'elle est calculée sur un grand nombre de produits.

La marge bénéficiaire brute n'a rien à voir avec la majoration du prix d'un produit ; par exemple, vendre 75 000 Ariary une marchandise au coût de revient égal à 50000 Ariary **permet de réaliser une marge bénéficiaire brute de 33 %** ($100 * (75000 - 50000) / 75000$)

ANNEXE II : PRODUCTION DE COLLES A MADAGASCAR

Sociétés de production

- SICOR s.a. - Antananarivo - Madagascar

Société de négoce de colles industrielles et produits techniques industriels .

- CHIMIDIS est une société industrielle et commerciale spécialisée dans la production de colle et la distribution de produit chimique pour l'industrie locale
- MADECASSE, fabricant des colles à Antananarivo.

Importation et exportation de colles effectuées par Madagascar

- **Importation de colles effectuées par Madagascar**

Tableau : Flux d'importation Poids net (kg)

	2010	2011	1° semestre 2012
- Caséines	29 143	92	0
- Autres dérivés des caséines colles de caséine	99	3	0
- Gélatines (y compris celles présentées en feuilles de forme carrée ou rectangle)	11183	10469	9986
- Dextrine et autres amidons et féculés modifiés	199386	242171	9462
- Colles	41297	63973	22269
- Adhésifs, pour la vente au détail, emballage 1 Kg et -	0	73107	0
- Produits de toute espèce à usage de colles ou adhésif	128927	29863	650
- Autres, adhésifs à bases de caoutchoucs ou matières plastiques	115885	96644	30184
- Autres colles et adhésifs préparés n d c a	0	44566	0
- Autres, autres colles présentées en briques de 1 kg	97441	32557	32400
- Autres colles et autres adhésifs préparés ;	103277	28973	38928
TOTAL	726638	622388	143879

- **Exportation de colles effectuées par Madagascar**

Tableau : Flux d'exportation Poids net (kg)

	2010	2011	1° semestre 2012
- Colles ou adhésifs, pour la vente au détail, emballage 1kg et -	0	90	0
- Produit de toutes espèces à l'usage de colles ou d'adhésifs	96	22	23
- Autres, adhésifs à bases de caoutchoucs ou matières plastiques	0	9	0
- Autres colles et adhésifs préparés n d c a	0	3	0
- Autres, colles présentées en briques de 1 kg	1	1	0
- Autres colles et autres adhésifs préparés, autres	2007	1542	2837
TOTAL	2104	1667	6513

ANNEXE III : PREPARATION DU LIQUIDE DE LUGOL

NATURE DU REACTIF :

C'est une solution aqueuse iodo-iodurée à 1 % d'iode, et son vrai nom est soluté de Lugol, ou soluté iodo-ioduré fort.

L'iode se présente sous forme de cristaux micacés gris-violet, très solubles dans l'alcool à 90° . La solubilité est augmentée en présence de l'iodure de potassium, ce qui permet de fabriquer une solution aqueuse.

Il faut savoir que l'iode, suivant la nature du réactif utilisé (Lugol postsulfurique, iode chlorozincique, Lugol, Melzer) et la coloration obtenue (noir, violet, bleu foncé, bleu ciel, bruns divers, jaunes +/- intenses...), permet de différencier sélectivement le glycogène, la cellulose, l'amidon, la chitine non sclérifiée, les dextrines....

PREPARATION :

Eau bidistillée :	100 ml
iodure de potassium :	2 g
iode :	1 g

Bien mélanger et attendre la dissolution totale de chaque constituant avant d'ajouter le suivant. Ne pas amener l'iode au contact d'objets métalliques, qu'il attaque très aisément. La dissolution de l'iode peut être assez lente. Nous préférons hâter le processus en passant la solution à l'agitateur magnétique durant 1/2 heure.

TABLE DES MATIERES

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE - 1 : GENERALITES SUR LA COLLE ET LES DIFFERENTES

TECHNIQUE DE COLLAGE	4
1.1_ COMPOSITION D'UNE COLLE	4
1.1.1_ Le liant	4
1.1.1.1_ Les résines	4
1.1.1.2_ Les polymères naturels	4
1.1.2_ La phase de dissolution	5
1.1.3_ La charge	6
1.1.3.1_ Définition	6
1.1.3.2_ Les différents types de charge	6
1.1.3.3_ Qualité de la charge requise	7
1.1.4_ Les additifs	7
1.2_ LA THEORIE DE COLLAGE	8
1.2.1_ Définitions d'une colle	8
1.2.2_ Théorie de collage... ..	8
1.2.2.1_ La mouillabilité	8
1.2.2.2_ L'énergie superficielle d'un liquide ou la tension superficielle	10
1.2.2.3_ Force d'adhésion et Adhérence	16
1.2.2.4_ La cohésion	19
1.2.2.5_ Test d'adhérence... ..	22
1.2.2.6_ Analyses des ruptures : cohésive/adhésive (inter faciale)...	25
1.3_ CLASSIFICATION DES COLLES A BOIS... ..	26
1.3.1_ Classification en colle hydrophiles et hydrophobes... ..	26
1.3.1.1_ Les colles hydrophiles	27
1.3.1.2_ Les colles hydrophobes... ..	27
1.3.2_ Classification d'après la méthode de prise... ..	27
1.3.2.1_ Prise entièrement physique... ..	27
1.3.2.2_ Prises principalement ou entièrement chimique... ..	29
1.3.3_ Classification en colles naturelles et artificielles... ..	30

1.4_ GENERALITES SUR LA REALISATION DU COLLAGE	31
1.4.1_ Préparation de la surface à coller... ..	32
1.4.2_ Etapes de collage	32
 CHAPITRE - 2 : GENERALITES SUR LE BOIS... ..	34
 2.1_ INTRODUCTION	34
2.2_ STRUCTURE DU BOIS... ..	34
2.2.1. Structure macroscopique du tronc d'arbre... ..	34
2.2.2. Structure microscopique du tronc d'arbre	36
2.3_ CONSTITUTION CHIMIQUE DU BOIS	39
2.3.1_ La cellulose	39
2.3.2_ La lignine	40
2.3.3_ Les hémicelluloses... ..	42
2.3.4_ Les matières extractibles du bois	43
2.4_ CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES PHYSICO MECANIQUE DU BOIS	43
2.4.1- Les caractéristiques du bois	43
2.4.2 Principales propriétés du bois... ..	44
2.4.2.1 Densité... ..	44
2.4.2.2 Retrait / gonflement... ..	45
2.4.2.3_ Masse volumique et densité... ..	45
2.5_ SECHAGE DU BOIS... ..	45
2.5-1 Définition	45
2.5-2 Méthodes de séchage	46
2.5-3 Taux d'humidité de bois	48
2.5.3.1 Calcul du taux d'humidité... ..	48
2.5.3.2 Comparaison des bois sec et humide... ..	49
 CHAPITRE - 3 : ETUDE SUR L'AMIDON, LA CASEINE ET LA GELATINE... ..	50

3.1_ L'AMIDON	50
3.1.1_ Introduction	50
3.1.2_ Source de product	50
3.1.2.1_ Synthèse de l'amidon	50
3.1.2.2_ Origine botanique	51
3.1.3_ Structure physique et chimique de l'amidon	51
3.1.4_ Propriétés de l'amidon	54
3.1.4.1_ Propriétés physiques	54
3.1.4.2_ Propriétés chimiques	54
3.1.5_ Extraction d'amidon	55
3.1.6 – Amidon de pomme de terre	57
3.1.6.1_ Composition de pomme de terre	57
3.1.6.2_ Amidon de pomme de terre	58
3.2_ LA CASEINE	58
3.2.1_ Introduction	58
3.2.2_ Le lait	59
3.2.2 .1_ Aspect et définition	59
3.2.2.2_ Composition du lait	59
3.2.2.3_ Composition moyenne du lait de vache	61
3.2.2.4_ Caractéristiques physico-chimiques du lait	62
3.2.3_ La caséine du lait	63
3.2.3.1_ Définition	63
3.2.3.2_ Généralités sur les caséines	64
3.2.3.3_ Propriétés de la caséine	65
3.3_ LA GELATINE	66
3.3.1_ Introduction	66
3.3.2_ Provenance et composants	67
3.3.3_ Structure de la gélatine	68
3.3.4_ Propriétés de la gélatine	68
3.3.5_ Extraction de la gélatine	70
3.3.5.1_ LE COLLAGENE	70
3.3.5.2_ Le processus de fabrication de la gélatine	71

PARTIE 2 : EXPERIMENTATION

CHAPITRE 4 : FABRICATION D'UNE COLLE A BOIS A BASE D'AMIDON 74

4.1_ EXTRACTION DE L'AMIDON DE POMME DE TERRE	74
4.1.1_ les matériels utilisés... ..	74
4.1.2_ Choix de la matière première utilisée : pomme de terre... ..	75
4.1.3_ Méthode d'extraction d'amidon... ..	75
4.1.3.1_ Mode opératoire du procédé humide... ..	76
4.1.3.2_ Observation et interprétation... ..	76
4.1.3.3_ Résultats et analyse du produit obtenu... ..	76
4.2_ PREPARATION DE LA COLLE D'AMIDON... ..	84
4.2.1_ les matériels utilisés... ..	84
4.2.2_ Produits utilisés : pycnomètres, précautions à prendre et rôle... ..	84
4.2.3_ Mode opératoire... ..	85
4.2.4_ Analyse des propriétés physico chimique de la colle obtenue.....	85
4.3_ EVALUATION DU COUT DE PRODUCTION.....	87
4.3.1_ Prix des matières premières... ..	87
4.3.2_ Estimation du prix du produit une fois réalisé... ..	87

CHAPITRE - 5 : FABRICATION D'UNE COLLE A BASE DE CASEINE ... 88

5.1_ EXTRACTION DE LA CASEINE DU LAIT... ..	88
5.1.1_ les matériels utilisés... ..	88
5.1.2_ Produits utilisés : pictogrammes et précautions à prendre	89
5.1.3_ Méthode d'extraction de la caséine... ..	90
5.1.3.1_ Mode opératoire... ..	90
5.1.3.2_ Observation et interprétation... ..	90
5.1.3.3_ Résultats et analyse du produit obtenu... ..	91
5.2_ PREPARATION DE LA COLLE DE CASEINE... ..	96
5.2.1_ Les matériels utilisés... ..	96
5.2.2_ Produits utilisés : pycnomètres, précautions à prendre et rôle	96
5.2.3_ Mode opératoire... ..	97

5.2.4_ Analyse des propriétés physico chimique de la colle obtenue et comparaison avec la colle de référence...	98
5.3_ EVALUATION DU COUT DE PRODUCTION...	100
5.3.1_ Prix des matières premières ...	100
5.3.2_ Estimation du prix du produit une fois réalisé...	100
 CHAPITRE - 6 : FABRICATION D'UNE COLLE A BASE DE GELATINE ...	 101
 6.1_PRODUCTION DE LA GELATINE A PARTIR DE LA PEAU DE VACHE.....	 101
6.1.1_ Les matériels utilisés ...	101
6.1.2_ les produits utilisés...	102
6.1.3_ Méthode de fabrication de la gélatine.....	102
6.2_PREPARATION DE LA COLLE DE GELATINE.....	105
6.2.1_ les matériels utilisés.....	105
6.2.2_ Produits utilisés : pictogrammes, précautions à prendre et rôle...	105
6.2.3_ Mode opératoire... ..	106
6.2.4_ Analyse des propriétés physico chimique de la colle obtenue et comparaison avec la colle de référence... ..	106
 6.3_ EVALUATION DU COUT DE PRODUCTION ...	 107
6.3.1_ Prix des matières premières.....	107
6.3.2_ Estimation du prix du produit une fois réalisé.....	108
 CHAPITRE 7: ETUDE COMPARATIVE ET EVALUATION DES IMPACTS SOCIOECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX	 109
 7.1_ LES METHODES DE CARACTERISATION UTILISEES POUR COMPARER LES COLLES FABRIQUEES AUX COLLES DE REFERENCE	 109
7.2_ ETUDE COMPARATIVE DES TROIS COLLES AVEC LA COLLE DE COMMERCE	111
7.2.1_ Comparaison des trois colles avec la colle de commerce	111
7.2.2_ Interprétations112

7.3_ EVALUATION DES IMPACTS SOCIOECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX.	112
7.3.1_ Evaluation des impacts socioéconomiques	113
7.3.2_ Evaluation des impacts environnementaux	113
CONCLUSION.....	114
ANNEXE I : CALCUL DE MARGE BENEFICIAIRE BRUTE	i
ANNEXE II : PRODUCTION DE COLLES A MADAGASCAR	ii
ANNEXE III : PREPARATION DU LIQUIDE DE LUGOL	iv

TITRE : « CONTRIBUTION A LA FABRICATION DES COLLES NATURELLES A BOIS »

Auteur : ANDRIANADO Nelinarindra

Nombre de page : 115

Nombre de tableau : 24

Nombre de figure : 41

Nombre de photo : 11

RESUME

Cette étude s'est focalisée sur la fabrication des colles naturelles à bois à partir de l'amidon, de la caséine et de la gélatine.

En effet, les études et essais expérimentaux auxquelles nous nous sommes livrés permettent de conclure que la colle fabriquée à partir de la caséine est la meilleure de ces trois colles mais c'est aussi celle qui est la plus chère, et la colle de gélatine présente les mêmes caractéristiques que la colle de commerce mais son prix est moins élevé.

L'élaboration de ces produits contribue à la valorisation de la culture et de l'élevage qui peuvent motiver les paysans vu que les matières premières utilisés sont les pommes de terre, le lait de vache et la peau de vache.

ABSTRACT

This study focused on the manufacture of natural wood adhesives from starch, casein and gelatin.

Indeed, studies and experimental tests which we have delivered to the conclusion that the glue made from casein is the best of these three glues and gelatin glue has the same characteristics as the trade price less glue but High .dropoff window.

The development of these products contributes to the promotion of culture and livestock that can motivate farmers, view that the raw materials used are potatoes, milk cows and cow skin.

Directeur de mémoire : Docteur RANAIVONIARIVO Gabriely

Adresse : lot A 277 E Andavamamba

Courriel : nelinarindra.andrianado@gmail.com